

Académie Lorraine des Sciences



PROCES-VERBAL DE LA SEANCE DU 10 MAI 2001

Présents : 48. Ont émarginé le cahier de présence : Mmes de Martin, Gouzou, Keller-Didier, Grand'Eury, Weill, Peltier, Keller, Gimenez, de Fay ; Mrs Combremont, Keller, Bautz, Courbet, Georges, Boyer, Pellerin, Landerer, Pentenero, Poty, Landes, Berna, Rauber, Claude, Peltier, Vernier, Duval-Cesar, Remy, Kobuta, Franiatte, Monin, Claudon, Coupechoux P., Coupechoux D., Bareth, Weibel, Cordier, Toutain, Pargney, Okitaudji, Goliot.

Excusés : Mmes Guidat, 1^{er} Adjoint au Maire de Nancy, Mayeux, Mangin, Simonin ; Mrs Rossinot, Maire de Nancy, Président CUGN, représenté par Mme de Martin, Bégorre, V.P. CUGN, le Recteur Losfeld, Dinet, Président CG 54, Gauthrot, V.P. CUGN, CG 54, Pierre, Fossard, Perrin M., Philipon, Hénard.

Le Président J.M. Keller ouvre la séance à 18h05, A. Bautz assurant le secrétariat de séance. Le Secrétaire Général G. Combremont donne deux informations : un exemplaire des statuts de l'ALS peut être fourni aux nouveaux Sociétaires s'ils le désirent ; le texte de la conférence de Mr Kevers-Pascalis est mis à la disposition des personnes souhaitant en faire une photocopie.

1- Présentation de deux nouveaux Sociétaires :

- **Mme Lyliane Gouzou**, Infirmière, présentée par Mrs J.M. Keller et G. Combremont.

- **Mr Bernard Poty**, Ingénieur Géologue, Directeur de Recherche honoraire au CNRS, présenté par Mrs J.F. Pierre et Pentenero.

2- Communications :

- la communication sur "les Mardelles de Lorraine" qui devait être présentée par Mrs Jean Wingert et Jean-Marie Keller est reportée à une date ultérieure.

- "**Litocampa quadrisetigera n. sp. (Insecta Diplura) de la grotte de Bidalunia**", par Camille Bareth. Cette nouvelle espèce cavernicole des Pyrénées

atlantiques est caractérisée par la présence sur les segments thoraciques de quatre macrochètes.

3- Conférence :

"Le réseau public de transport d'électricité. De la tempête météorologique à la tempête institutionnelle", par Mr Gérard Pellerin-Chedeville, Directeur du Réseau de Transport d'Electricité (RTE) pour la Région Est, et Mr Didier Landerer (RTE). La première partie de la conférence porte sur **la tempête météorologique** du 26 décembre 1999. Mr Pellerin expose tout d'abord les suites et impacts de la tempête sur le réseau régional France Est, réseau de très haute tension (THT 400KV), de haute tension (HT 225 KV), de moyenne et basse tension (150 et 63 KV). Les dégâts affectent les lignes et les pylônes. Les priorités d'intervention retenues sont la sécurité des tiers et la réalimentation de la clientèle, puis le dépannage pour remise en service, et enfin la réparation définitive progressive et toujours en cours. Les difficultés exceptionnelles rencontrées sur le terrain sont illustrées par la projection d'un film tourné par EDF sur "une liaison provisoire en Alsace", à proximité de la centrale de Fessenheim. Mr Landerer intervient alors pour traiter le retour d'expérience et suite. Une nouvelle politique de sécurisation du réseau transport THT et HT est définie. Beaucoup de dégâts ont été dus à des chutes d'arbres, d'où une remise à niveau des tranchées forestières. RTE met en place une amélioration des moyens de dépannage rapide, un renforcement des ouvrages, l'installation de pylônes anti-cascade sur les grandes lignes. Le calendrier envisagé démarré en 2000 doit se poursuivre jusqu'en 2015. La deuxième partie de la conférence, qui a porté sur **les changements institutionnels**, est alors abordée par Mr Pellerin. Une loi de 1996 et la directive européenne ont conduit à la création d'une Commission de Régulation de l'Electricité (CRE), et celle d'un Gestionnaire public du Réseau Transport d'Electricité (GRTE). Une distinction entre EDF producteur et EDF transporteur est ainsi établie. La CRE reste au sein de EDF, le RTE devient indépendant de EDF, les comptes étant séparés. Le RTE mis en place en juillet 2000 s'ouvre sur le marché européen et assure l'intégration des ouvrages de transport dans l'environnement. EDF entre également dans le marché européen et devient ouvert à la concurrence. La troisième et dernière partie de la conférence sur **perspectives et développement du RTE** est présentée par Mr Landerer. Des techniques d'avenir pour une meilleure efficacité du réseau sont mises en oeuvre : la surveillance du réseau par laser, les câbles à économie d'énergie (CEE), les câbles en souterrain à isolation gazeuse. Pour une meilleure intégration esthétique dans l'environnement, des études sur le design des pylônes ont été engagées (pylônes en corolle, en bois lamellé, déjà visibles sur la RN4 ; pylônes Grand-Duc).

Le temps a manqué pour développer toutes les questions qui auraient pu être soulevées par cette conférence. Les questions traitées ont porté sur l'indépendance réelle de RTE par rapport à EDF, RTE étant transporteur, mais assurant la régulation entre la production (EDF) et la consommation par les clients ; sur la résistance des ouvrages à des vents de 150 km/h ; sur la remise en place du réseau

par la voie aérienne alors que des solutions d' enfouissement des lignes auraient pu être retenues (oui pour les lignes de basse et moyenne tensions, non pour les HTH, car coût trop élevé et problèmes techniques).

Le Président remercie vivement les deux conférenciers et annonce que la conférence prévue pour le 14 juin sur le nucléaire par Mr Pelerin est annulée pour raison de santé. Elle sera remplacée par une conférence-débat avec Mr Paquin et Mr Baradel sur l'ESB, la fièvre aphteuse, la culture biologique.

Fin de la séance à 20h25.

Le Président :Dr J.M. KELLER

Le Secrétaire de séance : A. BAUTZ, Docteur ès Sciences

Académie Lorraine des Sciences



PROCES-VERBAL DE LA SEANCE DU 14 JUIN 2001

Présents : 70. Ont émarginé le cahier de présence : Mmes Gouzou, Combremont, Patard, Baudot, Puton, Gimenez, Lionel-Perrin, Keller-Didier, Keller, Grand'Eury, de Martin, Barnagaud, Mangin, Boumaza, Simonin, Thiebaut, de Fäy ; Mrs Combremont, Keller, Bautz, Ory, Fady, Pentenero, Courbet, Georges, Boyer, Coudry, Franiatte, Poty, Duval-César, Rauber, Tognolli, Bourgoïn R., Goliot, Claude, Peltier, Toutain, Jacquin, Pierre, Fossard, Perrin C., Coupechoux P., Coupechoux D., Jolas, Remy, Chollot, Bareth, Klein, Puton, Cordier, Bourgoïn C., Peltier J., Oschwind, Doat, Bagrel, Robaux.

Excusés : Mmes Weill, Mayeux, Nicolas, Maire de Vandoeuvre ; Mrs Rossinot, Maire de Nancy, Président de la CUGN, Losfeld, Recteur, Dinet, Président du Conseil Général 54, représenté par Mr Kinderstuth, Denis, Député 54, Philipon, Berna, Claudon, Knech, Guéry, Baudot.

Le Président J.M. Keller ouvre cette séance de clôture de l'année 2000-2001 à 18h00, A. Bautz assurant le secrétariat de séance. Il apporte des informations sur la journée d'étude à Abreschviller et Sitifort prévue le 29 septembre, la réunion de pré-rentree au Club Pernod le 19 octobre, la manifestation à l'Hôtel de Région de Metz, la date reste à préciser.

1 - Présentation de trois nouveaux Sociétaires :

- **Mr Alain Goliot**, Ingénieur automaticien, Consultant, Professeur Associé à l'UHP Nancy 1 en Gestion technique et économique des procédés industriels, présenté par Mrs G. Rauber et G. Combremont.

- **Mr Gino Tognolli**, Journaliste, présenté par Mrs J.M. Keller et J.P. Puton.

- **Mr François Toutain**, Pédologue, Spécialiste de la biodynamique des sols et des humus, Directeur de Recherche Honoraire du CNRS, présenté par Mrs F. Jacquin et J.C. Pargney.

2 - Conférence :

"L'ESB et la fièvre aphteuse, quel remède ?" présentée par Mrs Jean-Marie Baradel, Pharmacien, Directeur du Laboratoire vétérinaire et alimentaire départemental de Pixérécourt , et Laurent Paquin, Agriculteur, Vice-Président du Conseil Economique et Social de Lorraine, Secrétaire Général de la FDSEA.

Mr Baradel intervient en premier pour présenter les aspects vétérinaires, scientifiques et cliniques de l'ESB et de la fièvre aphteuse. C'est en 1730 qu'est observé pour la première fois un cas de la tremblante du mouton (infection par l'ATNC ovin). Il est suivi en 1872 d'un cas de tremblante chez la chèvre. Plus tard sont signalés des cas chez d'autres espèces animales (vison, cerf, ...), la transmission interspécifique de l'agent de la fièvre aphteuse est établie. Le premier cas d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) ou maladie de la vache folle est observé en Grande Bretagne en 1986. En 1990, un premier cas est signalé chez le chat, et depuis chez différentes espèces de félidés sauvages ou élevés en parcs animaliers. A ce jour le bilan des contaminations concernent seize espèces animales. L'agent de l'ESB, le prion, n'est pas spécifique des bovins, il est transmissible à d'autres espèces animales et à l'homme. En janvier 2001, le bilan des cas d'ESB recensés en Europe chez les animaux et chez l'homme montre clairement que l' Angleterre est le pays le plus atteint, avec 179 533 cas chez les animaux, 94 cas chez l'homme. Le développement de la maladie est lié aux changements introduits, pour des raisons économiques, dans le traitement des farines animales (diminution de la durée du chauffage et baisse de la température de traitement à 120°C ; dans ces conditions, le prion transmissible n'est plus détruit). En France, on dénombre respectivement chez les animaux et l'homme, 287 et 3 cas recensés sûrs. Pour l'homme trois cas supplémentaires sont suspectés, mais les familles ont refusé l'examen post-mortem indispensable à l'établissement du diagnostic définitif. Les données prospectives indiquent pour l'Angleterre 10000 cas de morts humaines par l'ESB dans les vingt années à venir. Les données épidémiologiques théoriques admettent pour la France 10% des cas anglais. Heureusement, nous sommes actuellement en dessous de ces prévisions (94 et 3 (ou 6 ?) cas au 1^{er} janvier 2001). La transmission de l'agent de la tremblante du mouton aux autres espèces, et celle de l'agent de l'ESB de la vache aux autres espèces peut se faire naturellement par voie orale, et expérimentalement par inoculation intracrânienne. Le prion est l'agent pathogène transmissible de l'ESB. Chez les organismes animaux existe une protéine PrP qui intervient normalement dans la transmission nerveuse. La PrP normale présente une structure moléculaire spatiale en feuillet et elle peut être dégradée sous l'action d'une protéinase K. Le prion correspond à une PrP pathologique pour laquelle la structure moléculaire en feuillet est remplacée par une structure en boucle, et sous cette forme elle ne peut

plus être dégradée par la protéinase K. Elle s'accumule dans les centres nerveux de l'organisme et provoque les attaques spongiformes de la substance blanche et la dégénération vacuolaire des tissus encéphaliques. Ces atteintes aboutissent après plusieurs années à la mort du malade. Le prion, découvert par le Prix Nobel Prusiner, peut se répliquer bien qu'il ne renferme pas d'acides nucléiques. Il ne mobilise pas le système immunitaire et ne provoque pas de foyers d'infection. Le diagnostic précoce est impossible et l'issue reste fatale pour l'individu atteint. Actuellement différentes hypothèses sont émises quant à l'origine du prion, mais rien n'est prouvé. L'une d'entre elles fait appel à un petit virus initial renfermant des acides nucléiques, qui se transforme en virino, puis en prion. Les recherches dans ce domaine sont en plein essor. La destruction du prion peut être obtenue par chauffage à 136°C minimum, durant 18 minutes, sous une pression de 3 bars, ou par des traitements, des trempages dans des dérivés du sodium comme la soude. L'eau de javel n'est pas efficace, le formol renforce l'activité du prion. Le prion se concentre au niveau des ovex localisés face ventrale des hémisphères cérébraux. Le transport du prion depuis les voies digestives où se fait l'ingestion suit les voies lymphatiques. L'incubation moyenne est de cinq ans. Les deux tests de dépistage post-mortem retenus par les Laboratoires régionaux agréés sont le test suisse Prionix (par électrophorèse) à Bar-le-Duc et Metz, le test français Biorad (test immunologique elisa) à Pixérécourt. Mr Baradel termine son intervention par quelques aspects cliniques. Chez l'animal, la vache, les parties à risques sont le tube digestif (iléon), le système lymphatique, la moelle épinière, le cerveau, les yeux, les amygdales, le thymus, la rate. Pour les muscles, il n'y a aucune crainte à avoir même s'ils renferment un peu de nerf, car si le prion est présent, la dose infectante reste insuffisante. La notion de dose infectante est essentielle à prendre en compte, et heureusement cette dose est importante. De la même façon, il n'y a pas de risque de transmission de la maladie de Creutzfeld-Jakob, forme dérivée de l'ESB chez l'homme, à partir de transfusions de sang. Une maladie proche de l'ESB, le kuru, sévit dans les peuplades de Papous en Nouvelle Guinée. Ces peuplades mangent les cadavres. Les femmes qui ne sont autorisées à ne manger que du muscle ne sont pas malades. Les hommes, qui sont les seuls à consommer la cervelle, sont atteints. Pour finir sont projetées quelques diapositives sur les aspects cliniques de la fièvre aphteuse, maladie virale des Artiodactyles, ongulés à nombre pair de doigts (ovins, porcins, bovins) : images de vésicules qui éclatent, d'érosion du tissu conjonctif. La maladie n'est pas mortelle mais laisse des séquelles. Théoriquement, elle ne se transmet pas à l'homme, mais 6 cas ont été publiés dans le monde ; les atteintes se présentent comme des brûlures au 2ème degré. Les dernières diapositives illustrent les atteintes histologiques de tissus nerveux encéphaliques par l'ESB chez la vache.

Mr Laurent Paquin intervient alors pour exposer les conséquences de ces deux maladies sur l'agriculture. D'emblée, il note une grande différence entre : - la fièvre aphteuse qui est une maladie bien connue des scientifiques, des médias et du public, et qui n'est pas présente chez l'homme, sauf quelques rares cas. - et l'ESB, dont on ne sait pas grand chose, et dont une variante est transmissible à l'homme, d'où un grand sentiment de psychose. Le premier sentiment des agriculteurs est

celui d'une totale irrationalité dans la réaction des médias et du public face à la première crise de 1996. Des précautions ont été prises avec le retrait des tissus à risques dans les farines animales. Cette irrationalité dans le passage et le matraquage des informations laisse un goût amer aux agriculteurs qui ressentent une impression de trahison de la part des pouvoirs publics, des scientifiques et des industriels. Les conséquences de la crise de la vache folle sont sans communes mesures avec celles de la crise plus récente de la fièvre aphteuse qui apparaît seulement comme un plus. Les conséquences économiques sont importantes mais surmontables, et ne sont pas les plus graves à son avis : maintien des animaux en ferme car devenus invendables ; saturation des élevages ; baisse de la consommation de viande bovine (40%), des prix (50%), des stocks de fourrages ; apparition de problèmes sanitaires dus à l'encombrement des fermes. Ces conséquences sur la filière ont impliqué des plans sociaux. Plus graves pour les agriculteurs selon Mr Paquin, sont les conséquences morales, la difficulté d'accepter que la profession soit montrée du doigt, et le nombre des suicides en milieu rural a augmenté. Il faut laisser passer la vague et relancer l'agriculture d'aujourd'hui, redonner une bonne image de la profession, s'ouvrir sur le grand public avec des visites de fermes par exemple. Des mesures importantes ont été prises avec l'interdiction des farines animales et la traçabilité des animaux. Les leçons à retenir pour l'avenir sont multiples : les agriculteurs doivent plus travailler avec les consommateurs, les écouter ; il faut mieux définir les objectifs du travail des agriculteurs ; il faut éviter les pièges, les "tartes à la crème" de l'agriculture biologique, qui doit exister, qui a sa place, mais qui ne présente pas que des avantages. Actuellement, l'agriculture biologique représente 1,5% de la production agricole, elle peut atteindre 10%, mais "il n'y a pas que les riches à nourrir". S'il n'y avait que du bio, la production mondiale chuterait de moitié et les prix augmenteraient fortement. En conclusion, Mr Paquin rappelle l'idée constructive que "ce n'est pas parce que c'est difficile, qu'il ne faut rien faire ; c'est de ne rien faire que ça devient difficile".

Le Président ouvre alors le débat entre l'assistance et les deux intervenants. F. Jacquin intervient pour dire que les nouveaux agriculteurs font de l'agriculture réfléchie, qu'ils sont intelligents dans leurs démarches. De nombreuses questions font suite à son intervention : - pourquoi avoir tué le cheptel atteint de fièvre aphteuse alors qu'un vaccin existe ? , et en brûlant les carcasses il y a dégagement de dioxine dans l'environnement (J.M. Keller). Pour Mr Baradel, c'est un problème économique, c'est plus onéreux de guérir que d'abattre. Pour Mr Paquin, l'agriculture n'est plus française, ni européenne, mais mondiale, notamment pour les problèmes sanitaires. Le mouton vacciné fabrique des anticorps, et l'on ne sait pas dire actuellement si un animal possède des AC parce qu'il a été vacciné ou parce qu'il a fait une fièvre aphteuse, et on ne peut pas vendre de tels animaux, notamment à l'étranger. - une petite fille de deux ans a eu la fièvre aphteuse, sans conséquences pour l'enfant. comment a-t-elle pu la contracter ? (dans le public). Selon Mr Paquin, l'enfant a dû être en contact avec un Artiodactyle (ovin, porcine) porteur de lésions qui peuvent être très inapparentes. Cette enfant avait effectué un

séjour en Grèce. - les animaux atteints par l'ESB sont abattus mais pas brûlés tout de suite. Leur stockage temporaire ne peut-il pas être une source de pollution de l'environnement, de la nappe phréatique en particulier ? (A. Bagrel). Mr Baradel admet que les cadavres frais peuvent être une source de contamination de l'environnement par les rats et autres rongeurs, et les pluies. Pour l'eau, même s'il y a une petite pollution, la dose infectante reste insuffisante pour qu'elle soit dangereuse pour l'homme. - pour la fièvre aphteuse, n'est-il pas possible d'envisager un vaccin porteur d'un marqueur, un vaccin traceur ? (C. Keller-Didier). Mr Baradel répond qu'il y a eu des essais avec des vaccins délétés, mais c'est un échec. Mr Paquin signale que les vaccins traceurs ne sont pas bien perçus aux USA. - le délai très court pour obtenir l'agrément ESB par le Laboratoire de Pixérécourt n'a-t-il pas été un lourd handicap ? (G. Combremont). Il a fallu équiper le Laboratoire en un mois et demi au lieu de quatre à cinq mois pour les centres de Metz et de Bar-le-Duc. Mr Baradel souligne l'engagement et la détermination de toute l'équipe conduite par Mme Brigitte Bour, ils ont permis de réussir ce pari. Les tests qui exigent six à sept heures de délai sont pratiqués la nuit. Les abattoirs qui fournissent en fin de journée leurs échantillons prélevés, ont connaissances des résultats des tests le lendemain matin. Actuellement, cent prélèvements sont traités chaque nuit. - pour les tests de dépistage de l'ESB, deux procédés sont agréés, Prionix et Biorad. Quels critères de choix ont été retenus par les centres agréés ? (A. Bautz). Bar-le-Duc et Metz qui ont été agréés en premiers, ont retenu le procédé suisse Prionix. Le centre de Pixérécourt, qui a dû monter un nouveau laboratoire, a voulu se démarquer en retenant le test français Biorad plus récent à l'habilitation et plus sensible que Prionix. Mr Baradel signale que les spécificités des deux tests sont comparables. Un troisième test, Enfer, existe en Irlande. - sur le problème des gélatines pharmaceutiques et alimentaires (dans le public). Mr Baradel indique que la gélatine bovine n'est plus utilisée pour les gélules en pharmacie. Pour les confiseries, un doute subsiste, mais les risques sont-ils réels ? . Actuellement, trop de précautions sont prises dans une optique large du "parapluie".

L'heure avancée de la séance nous oblige à interrompre le flux des questions. Le Président remercie très vivement Mrs Baradel et Paquin pour leur passionnante intervention, la nombreuse assistance, Mme Keller-Didier, Présidente de l'Ordre des Pharmaciens qui a œuvré pour la préparation de cette conférence. Il clôt la séance par une dernière information portant sur la nomination du Dr Robaux, Sociétaire de l'ALS, comme Membre titulaire de l'Académie de Stanislas. Au nom de l'assemblée, il lui exprime de vives félicitations.

Fin de la séance à 20h25.

Le Président, Dr J.M. KELLER
Le Secrétaire de séance, A. BAUTZ

Académie Lorraine des Sciences



COMPTE-RENDU SUR LA SORTIE D'ETUDE DU 29 SEPTEMBRE 2001

"en Pays de Sarrebourg"

Les participants se sont retrouvés à 9h à l'entrée de Sarrebourg où ils ont été accueillis par Mr Jean Wingert, Sociétaire de l'Académie Lorraine des Sciences, Denis et Martine Wingert et Bernard Houpert.

Le matin a été consacré à la visite, sous la conduite de B. Houpert, d'un site gallo-romain de hauteur, le site de la Croix Guillaume localisé dans la forêt domaniale de Saint-Quirin. L'activité principale du hameau occupant un plateau de 7000 m² sur les hauteurs boisées des Vosges gréseuses résidait dans l'extraction du grès et dans la sculpture. Le site regroupe plusieurs carrières de grès, une nécropole, un lieu de culte en plein air, des bâtiments d'habitations, un puits, des canalisations. Les carrières taillées à ciel ouvert dans les affleurements du grès vosgien présentent des tranchées en V révélant les traces caractéristiques dues au travail des coins en fer utilisés pour l'extraction de la roche. Ce grès extrait servait sur place pour la nécropole et les bâtiments du hameau, mais faisait également l'objet d'un commerce local. La présence de la nécropole a été signalée pour la première fois en 1911, mais ce n'est qu'en 1962-1963 que de premières fouilles ont été entreprises. Elles ont conduit à la mise à jour de onze tombes à incinérations. De nouvelles fouilles conduites de 1994 à 1999 ont permis le dégagement de nouvelles tombes circulaires, de stèles-maisons, de sculptures. Les tombes à incinérations sont datées du milieu du 1er siècle après J.C pour les plus anciennes, et jusqu'à la moitié du 3ème siècle, période probable de l'abandon du site, pour les plus récentes. Le nombre total de sépultures fouillées à ce jour est de 76. Le mobilier funéraire découvert comportant des urnes en céramique ou en grès a été déposé au musée de Sarrebourg. Il en est de même pour de nombreuses sculptures et pièces de monnaies découvertes sur le site. Le nombre des bâtiments retrouvés sur le site indique que l'habitation était modeste, probablement réduite à 2 à 4 familles.

A 11h30, nous avons été accueillis par Mr Antoine Schott, Maire de Harreberg. Le Président Jean Marie Keller a répondu aux chaleureux propos de bienvenue de Mr le Maire en rappelant brièvement les activités de l'Académie Lorraine des Sciences. Le Secrétaire Général Guy Combremont étant empêché, c'est le Secrétaire de séance Alain Bautz qui a remis à Mr le Maire le traditionnel cadeau souvenir offert par l'Académie. Un apéritif offert a marqué la fin de cette visite protocolaire.

Nous nous sommes alors retrouvés à l'Auberge de la Forêt a Abreschviller-Lettenbach pour le déjeuner. En fin de repas, les convives ont reçu un épais et riche document sur "La civilisation des sommets vosgiens", document préparé par B. Houpert. La fin de l'après-midi a été occupée par deux visites à Sitifort, celle d'une cristallerie artisanale, et celle de la maison-musée de Mrs Jean et Denis Wingert. Nous avons pu admirer les riches collections de roches et de minéraux mises en valeur par ces deux passionnés autodidactes. La journée s'est terminée par un cocktail offert par la famille Wingert.

Quarante deux participants ont suivi cette cordiale et enrichissante journée d'étude. Tous nos remerciements à Mr le Maire de Harreberg et aux Membres de son Conseil pour le temps et l'accueil qu'ils nous ont consacrés , à Mrs Jean et Denis Wingert et à Mme Martine Wingert, qui nous ont accompagnés tout au long de cette journée et reçus dans leur résidence, à Mr Bernard Houpert qui nous a instruit sur le site de la Croix Guillaume et la civilisation des sommets vosgiens, et pour qui "les archéologues amateurs ne sont pas des pousseurs de brouette; s'ils ont la passion, ils ont aussi la compétence".

Alain Bautz

Académie Lorraine des Sciences



PROCES-VERBAL DE LA SEANCE EXCEPTIONNELLE DU 4 OCTOBRE 2001

Environ soixante-dix personnes ont assisté à cette Séance exceptionnelle qui s'est tenue dans la Salle des Délibérations à l'Hôtel de Région à Metz.

La séance est ouverte à 14h par François Muller, Vice-Président du Conseil Régional de Lorraine, délégué à l'Enseignement Supérieur et à la Recherche Universitaire. Le Président Jean-Marie Keller remercie tous les acteurs qui ont rendu possible la tenue de cette Séance à l'Hôtel de Région, et rappelle les objectifs de l'Académie Lorraine des Sciences.

L'ordre du jour est alors abordé :

- Présentation par Jean-François Pierre, Docteur d'Etat ès Sciences, Membre titulaire de l'ALS, de son "Catalogue des Algues du Nord-Est de la France et des Régions attenantes 1959-2001", Mémoire publié dans le Bulletin de l'ALS avec le soutien financier du Conseil Régional de Lorraine. A travers son exposé oral illustré par la projection de nombreux transparents, J.F. Pierre a présenté l'esquisse géologique des affleurements prospectés, l'historique des travaux de recherche sur les Algues de la Région, l'hydrographie et la localisation des stations étudiées, le matériel et les méthodes d'études employés, la description d'espèces d'Algues non diatomiques et de Diatomées répertoriées dans son Mémoire, l'intérêt appliqué d'une telle étude de la communauté algale de divers milieux aquatiques situés dans l'espace entre Rhin et Meuse. La présentation de cet important bilan algologique a soulevé de nombreuses questions de la part des auditeurs.

- Remise du Grand Prix de l'ALS. Les Membres du Conseil d'Administration ont souhaité mettre en place un Grand Prix destiné à honorer en priorité des scientifiques autodidactes. La création de ce Grand Prix a été rendue possible cette

année grâce au partenariat conjugué et au soutien financier de la CERP Lorraine et de la BPL-ACEF. Pour cette première remise, le candidat retenu a été Mr Jean Wingert, Sociétaire de notre Académie, passionné de géologie et de minéralogie, et qui a mis en valeurs ses riches collections en créant un petit musée dans sa maison de Sitifort en Pays de Sarrebourg. Mr Wingert s'est également passionné pour des travaux d'archéologie portant sur les nodules de fer retrouvés dans les mardelles de Lorraine. Le diplôme et le Prix, une pâte de verre de chez Daum représentant un cheval cabré, lui ont été respectivement remis par Mr Jolas, Directeur général de la CERP Export et par Mr Virion, Président de l'ACEF 54.

- Remise de l'Ordre National du Mérite à Mr Jean-Pierre Jolas, Directeur Général de la CERP Export, Colonel de réserve, Sociétaire de l'ALS. Cette distinction décernée à titre militaire lui a été remise par son parrain, le Médecin-Colonel Jacques Delivré. Fin de la Séance à 17h30. Les participants se sont alors retrouvés pour un cocktail servi à l'issue de la manifestation.

Le Président : *Dr J.M. KELLER*

Le Secrétaire de séance : A. BAUTZ, Docteur ès Sciences

:

Académie Lorraine des Sciences



COMPTE-RENDU DE LA SEANCE DE PRE-RENTREE DU 19 OCTOBRE 2001

Excusés : Mrs A. Rossinot, Maire de Nancy, Président de la CUGN, P. Dap, Président du CES de Lorraine, P. Jacquemin, Maire de Villers-lès-Nancy, Conseiller Général, B. Bonnefoi, Directeur Départemental 57 de l'ONF.

La séance est ouverte à 18h30 avec quelques mots de bienvenue adressés par Mr Verges représentant Mr Rollot, Directeur du Club Pernod de Nancy. Environ quatre-vingts personnes sont présentes, dont Mr Semavoine, Directeur aux Affaires culturelles de la Mairie de Nancy, Directeur Adjoint des Services de la Ville de Nancy et Mr Tavenart, Directeur de la BPL. Le Président Keller remercie le Club Pernod pour son accueil, et il rappelle brièvement les points forts des récentes activités menées par l'ALS (la sortie du 29 septembre en Pays de Sarrebourg, la Séance exceptionnelle du 4 octobre à l'Hôtel de Région à Metz). La Séance solennelle de rentrée du 8 novembre sera ouverte par A. Rossinot, et J.F. Cordet, Préfet de Meurthe-et-Moselle, introduira la conférence de Mr Weachter sur l'Euro.

Commence alors la cérémonie d'intronisation des cinq nouveaux Académiciens nommés en 2001. Mr J.F. Pierre présente Mr Alain Bautz, Docteur d'Etat ès Sciences, Maître de Conférences en Biologie des organismes animaux à l'Université Henri Poincaré de Nancy, nommé en 2^{ème} section de Biologie animale et végétale, Sciences de l'environnement. Mme C. Keller-Didier présente Mr le Professeur Pierre Landes, Docteur en Médecine, nommé en 3^{ème} section de Médecine, Médecine vétérinaire, Pharmacie. Elle rend hommage au Dr Berna qu'elle remplace à la Présidence de la 3^{ème} section. Mr J.F. Pierre présente Mr Jean-Paul Bertaux, Archéologue, Directeur du Site de Grand, nommé en 4^{ème} section de Sciences du sol, de la terre et de l'univers. Mr R.L. Okitaudji présente Mr Dominique Delsate, Docteur en médecine, passionné de paléontologie, nommé en 4^{ème} section de Sciences du sol, de la terre et de l'univers. Le Président J.M. Keller

présente Mr Henri Courbet, Maître de Conférences en retraite, nommé en 5^{ème} section de Sciences de l'homme et des sociétés.

Le Secrétaire Général G. Combremont intervient alors en tant que représentant du Ministre de la Jeunesse et des Sports, pour la remise de la Médaille de bronze de la Jeunesse et des Sports au Président J.M. Keller en reconnaissance de ses activités dispensées au sein de diverses associations sportives.

Pour clore la manifestation, les participants sont invités à prendre le pot de l'amitié offert par le Club Pernod.

Le Secrétaire de séance : Alain BAUTZ, *Docteur ès Sciences*

Académie Lorraine des Sciences



PROCES-VERBAL DE LA SEANCE DU 8 NOVEMBRE 2001

Présents : 80. Ont émarginé le cahier de présence : Mmes de Martin, VP CUGN, Keller-Didier, Duval-Cesar, Landes, Keller, Herriot, Combremont, Lionel-Pelerin, Veron, Gimenez, Peltier, Claudon, Pichereau, Puton-Scherbeck, Bautz, Fristo, Takin, Schissler, Klein, Aclouet, Pargney, Gouzou, Vergnat, Wingert ; Mrs Combremont, Keller, Bautz, Guerrier de Dumas, Delivré, Metche, Pentenero, Boyer, Georges, Chollot, Landes, Pierre, Franiatte, Duval-Cesar, Hartemann, Fady, Ory, P. Coupechoux, D. Coupechoux, Tognolli, Claude, Philipon, Gazotte, C. Perrin, Robaux, Fossard, Claudon, Pichereau, Goliot, Vernier, Bareth, Haluk, Tavenart, Cordier, Pargney, Florion, Okitaudji, Bagrel, Coulom, Schissler, J. Wingert, D. Wingert, Puton.

Excusés : Mmes Nicolas, Maire de Vandoeuvre ; Guidat, Laithier, Mayeux, Adjointes Maire de Nancy ; Mercier, Adjointe Maire d'Essey ; André, Conseillère Pulnoy ; Rosso Debord, Paproth, Grand'Eury. Mrs Cordet, Préfet de Meurthe et Moselle ; Antoine, Kobuta, Monin, Conseillers Communautaires ; Grandjean, Begorre, Léonard, Capiamont, VP CUGN ; Schaff, Maire d'Art-sur-Meurthe ; Rouyer, Maire de Pulnoy ; Choné, Maire de Ludres ; Feron, Maire de Tomblaine, VP Conseil Général 54 ; Jacquemin, Maire de Villers-lès-Nancy ; Hénard, Werner, Adjointes Maire de Nancy ; Losfeld, Recteur de l'Académie de Nancy-Metz ; Weibel, CCM ; Leroy, Sénateur ; Denis, Député ; Dap, Président CES de Lorraine ; Dinet, Président du Conseil Général 54 ; Bolmont, VP du Conseil Général 54 ; Rauber, Berna.

La séance est ouverte à 18 heures par le Président J.M. Keller, le secrétariat de séance étant assuré par A. Bautz. Le Président laisse la parole à Mr André Rossinot, Maire de Nancy, Président de la CUGN, pour l'ouverture officielle de la saison 2001-2002 de l'Académie Lorraine des Sciences. Dans son intervention, A. Rossinot souligne l'esprit académique de notre Institution, les relations entretenues avec l'Université et la démarche de recherche sur des sujets d'actualité, les apports

bénéfiques des Académies de l'Agglomération de Nancy. Le partenariat entre Académies et Agglomération doit être maintenu et conforté. Mr Rossinot termine son allocution par quelques mots sur le sujet de la conférence du jour, l'Euro.

L'intervention prévue de Mr le Préfet de Meurthe-et-Moselle à propos de l'arrivée de l'Euro sur le territoire départemental a dû être annulée, Mr Jean-François Cordet étant retenu par la venue en Lorraine de Raymond Forni, Président de l'Assemblée nationale.

Le Président présente alors le Conférencier, Mr Philippe Waechter, Directeur des Etudes Economiques de la Banque Populaire Asset Management, et introduit le thème de son intervention sur "**L'Euro, une dynamique de la construction européenne : impact sur le système monétaire international**". En introduction, Mr Waechter rappelle qu'après le traité de Maastricht de 1992, la mise en place de l'Euro devient une réalité. Au 1^{er} janvier 1999, l'essentiel est en place, et tout est fait pour l'échéance du 1^{er} janvier 2002. La conférence s'articule en trois parties :

Pourquoi l'Euro? Il fallait un taux monétaire fixe entre les différents pays de la Communauté Européenne, une union monétaire, un seul taux de change. Il y avait déjà eu par le passé des unions monétaires, mais qui se sont défaites, entre l'Allemagne et l'URSS par exemple. Union monétaire et Union politique ont un trait commun, mais pour la première fois s'est mis en place un organe de régulation, la Banque Communautaire Européenne, la BCE. Comment tout cela s'est mis en place à l'issue de la 2^{ème} guerre mondiale. Une Communauté Européenne de Défense créée en 1954 a été vouée à l'échec, la tentative était difficile à cette époque. Il en fut de même pour une Communauté Européenne politique. Et la construction européenne est avant tout une construction économique. Différentes étapes ont marquées la mise en place de la monnaie unique entre 12 pays européens formant un bloc assez proche des USA (Europe, 16% du PBI mondial ; USA, 20% du PBI mondial) : l'ouverture des frontières et la baisse des droits de douane, le marché unique 1983-1993, le Serpent Monétaire Européen, le traité de Maastricht. L'objectif a été de construire une zone d'échange susceptible d'augmenter les perspectives de croissance. Il y a une tendance à la régionalisation au sens mondial avec la mise en place de zones d'échanges privilégiées. Le Système Monétaire International doit s'adapter. Dans le SMI de Bretton Woods de 1945 tout est centré sur le dollar et basé sur l'or. Dans le nouveau SMI prospectif apparaissent trois zones régionales, une zone Dollar, une zone Euro, une zone Asie.

Le bilan depuis trois ans. La BCE est créée le 1^{er} juin 1998. Parmi ses premiers objectifs, il y a la stabilisation des prix au sein de la zone Euro, avec une inflation inférieure à 2%. Les décisions sont prises par un Conseil de politique communautaire au sein duquel chacun des 12 pays compte pour une voix. Le basculement des marchés financiers en Euro a lieu le 1^{er} janvier 2001, le taux de change de la zone devient l'Euro. Est-ce que ça a marché? Pour Mr Waechter, oui. Le système a la confiance des investisseurs. Le marché fonctionne parfaitement

bien. Depuis 1999, il se développe par rapport aux USA. Ce que le grand public voit, c'est que l'Euro baisse par rapport au dollar, et ça peut l'inquiéter, mais ce qu'il est important de suivre c'est la parité Euro-Dollar et la croissance annuelle. Les courbes de croissance de 1997 à 2001 montrent que les écarts entre l'Europe et les USA tendent à se resserrer, même si l'on constate une baisse affectant les deux zones depuis 2000. Le point faible du système, c'est qu'il n'y a pas de politique budgétaire européenne, c'est la BCE qui fait tout.

Les perspectives. Au 1^{er} janvier 2002, l'Euro devient la seule monnaie officielle pour les 12 pays. Durant les premiers mois, la consommation risque de chuter un peu. Le passage des prix en francs en prix en Euros sera l'objet d'un ajustement et d'un arbitrage en cas de dérapage. Une enquête faite ce jour par l'INSEE révèle que les français ne sont pas inquiets pour le passage (11% inquiets, 66% non).

En conclusion, pour Mr Waechter, les choses marchent plutôt bien, les marchés financiers aussi. Il émet une réserve sur la coordination entre les politiques et la BCD. Pour l'instant, la zone Euro reste une Union monétaire sans Union politique, mais ça pourrait évoluer rapidement.

De multiples questions ont fait suite à cette conférence :

- pour les candidats à l'élargissement de l'Union Européenne, les pays de l'Est notamment, l'entrée sera-t-elle systématique ? Non.
- la CBE vient de baisser aujourd'hui le taux d'intérêt à 3,25%, il était de 4,75 il y a 4 mois. Est-ce un pallier ou pas ? Cette baisse attendue de la part de la CBE est bonne afin de contrôler l'inflation, mais la CBE ne contrôle-t-elle pas un peu trop? aux USA, le taux est de 2%, mais la récession est forte.
- Faut-il faire sortir du système les pays qui ne respectent plus actuellement les exigences demandées au départ ? ils resteront quand même.
- quelle est la place des pays africains francophones ? ils sont dans la zone Euro.

Le flux des questions a du être interrompu vu l'heure déjà tardive. Le Président invite les participants à se retrouver dans le hall d'accueil de la CUGN et à continuer à poser leurs questions autour d'un pot de l'amitié offert par la Communauté Urbaine du Grand Nancy.

Fin de la séance à 20h20.

Le Président, Dr J.M. KELLER

Le secrétaire de séance, A. BAUTZ, Docteur ès Sciences

Académie Lorraine des Sciences



PROCES-VERBAL DE LA SEANCE DU 13 DECEMBRE 2001

Présents : 41.

Ont émarginé le cahier de présence : Mmes de Martin, VP CUGN, Landes, Keller, Combremont, Lionel-Pelerin, Gimenez, Puton-Scherbeck, Tékin, Schissler, Patard. Mrs Courvoisier, Pargney, Botton, Courbet, Schissler, Landes, Pierre, Pentenero, Philipon, Franiatte, Rauber, Tognolli, Klein, Vernier, Toutain, Metche, Remy, Fossard, Claudon, Aimond P., Aimond Y., Puton, Cordier, Haluk, Robaux, Combremont, Keller, Bautz, Okitaudji.

Excusés : Mmes Nicolas, Maire de Vandoeuvre ; Mayeux, Adjointe Maire de Nancy ; Rosso Debord, Keller-Didier, Gouzou. Mrs Rossinot, Président de la CUGN ; Bégorre, VP CUGN ; Losfeld, Recteur de l'Académie de Nancy-Metz ; Dinet, Président du Conseil Général 54 ; Leroy, Sénateur ; Le Déaut, Député ; Gauthrot, Maire de Heillecourt ; Hénard, Adjoint Maire de Nancy ; Boyer, Chollot, Coupechoux, F. Claude, Hartemann, Georges, Rémy, Mortier.

La séance est ouverte à 18 heures par le Président J.M. Keller, A. Bautz assurant le secrétariat de séance.

Présentation de deux nouveaux Sociétaires :

Mr Schissler Jean-Marie, Professeur d'Université en Métallurgie, spécialiste des alliages, présenté par P. Landes et G. Combremont.

Mr Klein Jean-Paul, Docteur en Pharmacie, Directeur des Laboratoires Aubert, présenté par J.C. Pargney et F. Vernier.

Communications :

"Problématique de l'amélioration de la production d'acide aminé par voie microbienne" par Mr Stéphane Delaunay, Maître de conférences à l'ENSAIA.

Les acides aminés sont des molécules d'intérêt majeur pour l'alimentation humaine

et animale, mais également pour la pharmacie, la cosmétique, la chimie. La souche microbienne étudiée est du genre *Corynebacterium*. La valeur économique est liée à la production. Si la production augmente, les prix de vente diminuent. Il faut améliorer les techniques de production industrielle des acides aminés. Une des possibilités est d'améliorer le biocatalyseur *Corynebacterium*. Exemple de l'acide glutamique dont la production par méthode fermentaire (*C. glutamicum*) est de un million de tonnes par an. La production peut être améliorée en jouant sur l'environnement, en ajoutant de la biotine ou un tensioactif, en élevant la température. Les modifications génétiques ne sont pas toujours efficaces, non pour l'acide glutamique, oui pour la valine. Les cartes génomiques des biocatalyseurs sont établies par des industriels à la demande des chercheurs.

"Nouvelle observation, en France, de Stigmella tormentillella Herrich-Schaffer 1855 (Lepidoptera Nepticulidae)" par Mr Jean-Marie Courtois.

La présentation orale est faite par J.F. Pierre. Décrite dans les Landes, l'espèce est signalée en Meuse, Moselle et Vosges.

Conférence : *"Commercialisation des champignons comestibles et techniques actuelles de production"* par Mr Michel Courvoisier, Economiste, Directeur de la Fédération Française des Trufficulteurs.

L'évolution de la consommation est le reflet de celle de la production. Les champignons comestibles sont divisés en champignons sylvestres que l'on ne sait pas cultiver et en champignons cultivés. La culture est plus ou moins maîtrisée selon les espèces, parfois très difficile comme pour la truffe. C'est le champignon de Paris *Agaricus* qui reste le plus consommé. De 1986 à 1997, la consommation mondiale a augmenté, mais cette augmentation est surtout due aux pays asiatiques et plus particulièrement la Chine avec *Auricularia* sp, l'oreille de Judas ou champignon noir chinois. Dans la liste des champignons cultivés, dix espèces sont dominantes avec *Agaricus* et *Auricularia* en tête. La Chine est le premier producteur du monde devant l'Union Européenne. La consommation par habitant est : champignons frais, 60% ; champignons congelés, 8% ; champignons en conserve, 32%. En 1970, elle était de 0,76 kg par tête, en 1997 elle passe à 2,21 kg. Cette augmentation est due à l'action des professionnels de la restauration, mais aussi aux progrès dans les moyens de transport des champignons. Pour les récoltes commercialisées de champignons sylvestres, ce sont les bolets et les chanterelles qui dominent. Les techniques de production ont également évolué. Si l'on se réfère aux techniques pour le champignon de Paris, on distingue trois étapes.

- 1) la production de la semence par multiplication végétative du mycélium de souche mère. La multiplication se fait en culture pure sur grains de céréales (millet, seigle). L'incubation est réalisée en milieu "stérile". Il y a de moins en moins de fabricants de mycélium, actuellement il reste 5 à 6 groupes mondiaux. Les souches dégènèrent avec le temps, il faut retrouver les souches mères.
- 2) le compostage. Le compost frais est préparé à partir de fumier de cheval, de paille et de fiente de volaille. Il faut homogénéiser ces matières premières et les saturer d'eau afin d'engager la fermentation. La préparation se fait en plein air, afin d'éviter tout problème de voisinage. L'abattage et retour permet de former des files

de 1,80m x 1,80m où se poursuit la fermentation. A l'intérieur de la file, la température atteint 80°C. Les files sont retournées à l'aide d'une machine ou composteur. Le compost subit une pasteurisation en masse dans des chambres. Il est alors prêt pour être inséminé.

- 3) la culture. Elle débute par l'innoculation ou lardage, il faut 5 à 8% de mycélium par volume de compostensemencé. Suit une incubation de deux semaines, le mycélium envahit le compost. Il faut initier la fructification en rajoutant de la tourbe dessus le compost. Une période de préfructification de trois semaines précède l'apparition des champignons. La culture se fait à l'obscurité, en sac, en caisses ou en conteneurs. Les caves sont progressivement abandonnées au profit de maisons de culture. La cueillette à la main (20-30 kg par heure) est remplacée par une cueillette à la machine (700 kg par heure avec une cueilleuse).

Suite à la conférence, de multiples questions ont porté sur : - la teneur en CO2 dans les champignonnières. 2 à 3% - le nombre de professionnels en France. 120 il y a quelques années, ça a beaucoup chuté en quelques années - que devient le compost ? C'est un gros problème, il n'est pas revalorisé actuellement - le contrôle sanitaire à l'importation. Il limite les importations - que deviennent les anciennes carrières de Paris ? encore quelques unes en activité - la production en Lorraine. Des champignonnières à Savonnière. Des essais de culture de pleurote ont été tentés dans des structures de la ligne Maginot, mais échec - le producteur produit ou achète son inoculum ? il achète - le mélange commercialisé de vraies et fausses girolles - la production de morilles. On ne sait pas la cultiver - la toxicité de la morille. Certaines morilles peuvent être dangereuses, il faut bien les cuire - la production de champignons en Israël - l'effet Tchernobyl. Sur les cultivés, pas d'effet. Pour les sylvestres ? il faudrait en manger beaucoup - le nombre de calories dans 1 kg de champignon. ? peu.

Le Président remercie Mr Courvoisier.

Il souhaite aux Sociétaires de bonnes fêtes de fin d'année.

Il rappelle la tenue de l'Assemblée Générale le 10 janvier 2002, AG suivie d'une séance publique et du repas annuel.

Fin de la séance à 20h10.

Le Président : *Dr J.M. KELLER*

Le Secrétaire de séance : A. BAUTZ, Docteur ès Sciences

:

***GOMPHONITZSCHIA UNGERI* Grunow EN LORRAINE (FRANCE).**

Jean-François PIERRE

Hydrobiologie-Algologie, 22 allée des Aiguillettes, F-54600 Villers-lès-Nancy

Résumé : *Gomphonitzschia ungeri* Grunow est une espèce des eaux douces tropicales absente des flores systématiques européennes. Sa présence est signalée dans deux mares d'un parc public de la communauté urbaine du grand Nancy (Lorraine, France).

Mots-clés: Algues, diatomées, *Gomphonitzschia ungeri*, France.

Abstract : *Gomphonitzschia ungeri* Grunow, a species from tropical waters, is not registred in european flora. This diatom is located in two pools of an urban park around Nancy (Lorraine, France).

Key-words: Algae, diatoms, *Gomphonitzschia ungeri*, France.

L'introduction d'espèces exotiques, tant animales que végétales, est un mécanisme anciennement et régulièrement signalé, même si le vecteur ne peut pas toujours être clairement identifié. La diatomée *Gomphonitzschia ungeri* Grunow, originaire des eaux douces tropicales, en est un nouvel exemple.

MATÉRIEL & MÉTHODES

Le parc public du château de Montaigu, sur les communes de Jarville et Laneuveville, est géré par la communauté urbaine du grand Nancy (CUGN). A la suite de la tempête de décembre 1999 la quasi totalité des formations ligneuses, près de mille arbres, a été détruite. A l'occasion de la restructuration nécessaire de cet espace vert le devenir de deux mares existant dans la partie basse du parc a été abordé.

Ces formations sont alimentées séparément par les eaux superficielles de ruissellement et des écoulements de la nappe phréatique surmontant une couche argileuse imperméable assurant le maintien des mares.

Note présentée à la séance du 19 avril 2001, acceptée le 24 avril 2001.

Avant l'exécution de travaux de curage ou de recalibrage la C.U.G.N. a souhaité qu'une étude soit réalisée au niveau de la flore algale et de la faune d'Invertébrés. Des prélèvements ont été effectués dans les deux mares principales : mare I en amont, jouxtant les restes d'une ancienne glacière et mare II un peu en contrebas. Ces mares d'environ un are (100 m²) chacune, se caractérisent par leur faible profondeur (quelques dizaines de cm) et leur fond tapissé d'une épaisse litière de feuillage en décomposition. Elles sont éloignées de quelques dizaines de mètres l'une de l'autre. La température de l'air et de l'eau était de 5°C, le pH mesuré *in situ* dénotait une faible alcalinité et la conductivité relativement élevée correspondait à une minéralité d'environ 600 mg de sels dissous par litre d'eau.

Les prélèvements datent du 17 février 2001. Suite aux conditions hivernales particulièrement clémentes une ceinture presque continue d'algues filamenteuses bordait les deux mares. Des récoltes du matériel macroscopique ont été réalisées à la main et complétées d'un prélèvement au filet à plancton destiné à l'étude des micro-algues et des diatomées.

RÉSULTATS & DISCUSSION

Les résultats détaillés de cette étude feront l'objet d'une publication ultérieure. Le présent travail concerne la découverte d'une espèce inféodée aux eaux douces tropicales, la diatomée *Gomphonitzschia ungeri* Grunow.

L'étude à l'état frais (hors diatomées) du matériel algal ne révélait que des espèces banales pour la région, mais l'étude ultérieure du peuplement diatomique mettait immédiatement en évidence la présence d'une espèce totalement inattendue, jamais signalée jusqu'à présent en Lorraine (PIERRE 2001) et que nous avons déterminée comme *G. ungeri* Grun.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes: c'est un *Nitzschia* hétéropolaire, avec une vue valvaire piriforme finement striée et à canal raphéen presque médian. La vue connective est cunéiforme. Les dimensions des individus mesurés varient en longueur, de 28 à 35 µm et en largeur de 4 à 5 µm. Il y a environ 10 fibules en 10 µm avec 20 stries en 10 µm, finement ponctuées et nettement inclinées dans la région médiane et basale (Figure 1).

Cette diatomée n'est pas citée dans les flores européennes occidentales: la "Kryptogament-flora" de MIGULA (1907), les deux "Susswasser-Flora" de HUSTEDT (1930) et de KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1988), bien que ces derniers en donnent une illustration, celles de Van der WERFF & HULS (1957), G. HUBER-PESTALOZZI (1942), H. GERMAIN (1981). Elle n'est pas non plus répertoriée par LODES & COSTE (1996).

A. CLEVE-EULER (1952) mentionne cette diatomée en Finlande, avec un unique signalement dans un marécage lapon. BOURRELLY (1968) dans son ouvrage exhaustif sur les algues d'eau douce du monde entier cite cette diatomée en précisant que la seule espèce dulcaquicole du genre est fort rarement signalée en régions tropicales.

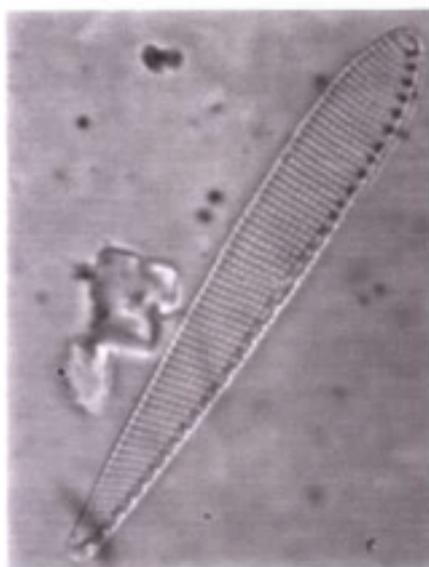
La réalité de l'existence de *Gomphonitzschia ungeri* Grun. dans ces deux mares de la région nancéenne ne peut être discutée. Il ne s'agit pas d'un exemplaire isolé; elle est pratiquement observée à chaque transect de préparation microscopique. Cette présence peut être rapprochée du signalement à plusieurs reprises d'algues marines dans des milieux régionaux (PIERRE 2001), bien que dans ce cas il s'agisse la plupart du temps d'individus à l'état d'exemplaires uniques et que leur survie dans ces milieux ne puisse être certifiée; l'explication de leur présence reste similaire:

- L'apport par des oiseaux marins migrateurs est la justification le plus souvent avancée de leur présence bien que la probabilité de retrouver dans un prélèvement réalisé au hasard une de ces espèces importée soit cependant très faible.

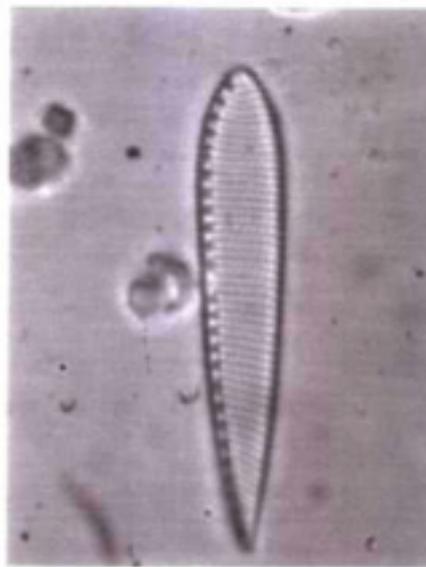
- Une autre hypothèse est celle de la contamination du prélèvement par des rejets industriels renfermant des diatomites mais ne peut être retenue car les espèces rencontrées ici ne sont pas représentées dans ces matériaux fossiles.

- Une contamination au laboratoire par des échantillons marins ou tropicaux ne peut pas non plus être retenue car ce matériel n'y est pas présent.

- L'apport par un rejet d'eau d'aquariums tropicaux d'eau douce est envisageable, l'exemple encore récent en milieu marin de *Caulerpa taxifolia* le rappelle. Le transport d'une telle quantité d'eau et son déversement dans ces mares plutôt qu'un rejet à l'égout ne paraît pas évident mais il est connu et constaté dans l'agglomération que des particuliers se débarrassent (ou cherchent à implanter!) dans des lieux divers des organismes animaux ou végétaux plus ou moins exotiques.



x100



x100

Gomphonitzschia ungeri Grun. Figure 1: microscopie photonique; la barre représente 5 μ m.
Figure 2: microscopie électronique à balayage; vue interne du frustule.
La barre représente 2 μ m

Il n'en reste pas moins que la découverte de cette diatomée, en quantité notable et dans les deux mares laisse présager la possibilité du développement local de cette espèce.

CONCLUSION

La présence, dans deux mares d'un parc public géré par la communauté urbaine de Nancy, de *Gomphonitzschia ungeri*, diatomée jusqu'alors seulement connue des eaux douces tropicales, est problématique par son introduction et par son abondance relative qui laissent supposer une survie et une multiplication pourtant peu favorisées par les conditions locales.

Dans l'état actuel des connaissances, il est impossible d'affirmer la pérennité de cette espèce. Il est également possible que, comme nombre d'espèces algales, elle ne soit trouvée qu'à certaines périodes, pour des raisons également non connues.

Bien que cette diatomée puisse symboliser un élément peut être nouveau du patrimoine algologique régional, sa présence à elle seule ne peut écarter toute action humaine raisonnée. Ainsi le maintien des mares et de leur environnement ne semble pas incompatible avec un aménagement des abords et leur mise en sécurité, sous réserve que quelques précautions soient prises.

Il est possible d'espérer que cette diatomée, tout à fait originale pour la région, trouvera dans ces conditions la possibilité de pérenniser sa présence.

BIBLIOGRAPHIE

- BOURRELLY P., 1968 - Les Algues d'eau douce. T. II: les Algues jaunes et brunes. Boubée Ed., Paris.
- CLEVE-EULER A., 1952 - Die Diatomeen von Schweden und Finnland. 5. Teil: (Schluss.). *Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl.*, 3, 3, 1-153, 46 pl.
- GERMAIN H., 1981 - Flore des Diatomées. Boubée Ed., Paris.
- HUBER-PESTALOZZI G., 1942 - Das Phytoplankton des Süßwassers. 2. Teil, 2. Hälfte: Diatomeen. E. Schweizerbart'sche Verlag., Stuttgart.
- HUSTEDT F., 1930 - Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, Heft 10: Bacillariophyta. G. Fischer Verlag, Jena.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1988 - Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2. Bd, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. G. Fischer Verlag, Stuttgart.
- LUDES B. & COSTE M., 1996 - Diatomées et médecine légale. Lavoisier Ed., Paris.
- MIGULA W., 1907 - Kryptogamen-Flora von Deutschland, Deutsch-Österreich und der Schweiz. Band II. Algen. 1. Teil. F. v. Zetzschwitz Verlag, Gera.
- PIERRE J.F., 2001 - Catalogue des algues du nord-est de la France et régions attenantes. *Bull. Acad. lorr. Sci.*, à paraître.
- Van der WERFF A. & HULS H., 1957 - Diatomeeënflora van Nederland. De Hoff. Ed., den Haag.

**ETUDE DU MICRO-ENVIRONNEMENT DE
L'ASCOCARPE DE *TUBER MESENERICUM* :
PREMIERS RESULTATS**

**STUDY OF MICRO-ENVIRONMENT AROUND
TUBER MESENERICUM ASCOCARP : FIRST RESULTS**

Ouarda BOUMAZA¹, François TOUTAIN², James ROUILLER²,
Jean-Claude PARGNEY¹

¹UMR-IAM, Faculté des Sciences, Université H. Poincaré-Nancy I, B.P.239, 54506
Vandoeuvre Cedex, France.

²Centre de Pédologie Biologique – C. N. R. S., Nancy, France.

RESUME

Pour mieux connaître la biologie de la truffe et maîtriser sa culture, nous nous sommes intéressés à l'analyse des relations entre la truffe méésentérique de Meuse (*Tuber mesentericum*) et son micro-environnement à différentes échelles par des études morphologiques et micro-morphologiques sur lames de sol et par des observations et microanalyses ultrastructurales.

L'analyse de l'interface sol-truffe a montré une forte adhésion entre les particules du sol et le périidium et les relations intimes entre la truffe et son micro-environnement. Le sol adhérent à la truffe montre un enrichissement en cations échangeables par rapport au sol témoin.

Mots-Clés : *Tuber mesentericum*, micro-environnement, morphologie et micro-morphologie, analyses ultrastructurales, interface sol-truffe, cations échangeables.

Note présentée à la séance du 19 avril 2001, acceptée le 30 novembre 2001.

ABSTRACT

In order to obtain a better knowledge of the truffle and master its cultivation, we have considered the relational analysis between *Tuber mesentericum* from the Meuse area and its microenvironment. This relational analysis has been performed at various scales using on one hand by morphologic and micro-morphologic studies based on thin soil slide (thin section of soil) and on the other hand by ultra-structural observations and microanalysis. The soil-truffle interface analysis did show a adherence between soil and peridium as well as closed relations between the truffle and its microenvironment. The attached soil on the truffle shows an increase of exchangeable cations compared to the soil check sample.

Key words : *Tuber mesentericum*, micro-environnement, morphology and micromorphology, ultrastructural analysis, soil-truffle interface, exchangeable cations.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Biologie der Trüffel besser kennen zu lernen und ihren Anbau zu beherrschen, haben wir die Verbindungen zwischen der Maas-Trüffel (*tuber mesentericum*) und ihrer Mikro-Umwelt auf verschiedenen Größenebenen (Mikron, Milimeter, Zentimeter) analysiert. Hierzu haben wir morphologische und mikromorphologische Studien an Bodenproben vorgenommen, ebenso Beobachtungen und Mikroanalysen der Ultrastrukturen des Bodens und der Trüffel.

Die Analyse der Boden-Trüffel Kontaktzone hat gezeigt, daß es zwischen Bodenpartikeln und Peridium eine starke Haftung gibt. Sie hat auch die (sehr engen) intimen Verbindungen zwischen der Trüffel und ihrer Mikro-Umwelt aufgezeigt. Der an der Trüffel anhaftende Boden weist, gegenüber dem etwas weiter entnommenen Boden, eine Bereicherung an austauschbaren Kationen auf.

Schlüsselworte : *Tuber mesentericum*, Mikro-Umwelt, morphologische und mikromorphologische Studien, Ultrastruktur analyse, Boden-Trüffel Kontaktzone, austauschbaren Kationen.

INTRODUCTION

Les nombreux travaux sur la truffe, effectués depuis plusieurs années, témoignent de l'intérêt de ce type de matériel, tant sur le plan économique que sur les plans biologiques et expérimentaux. Si une grande partie du cycle est connue, un certain nombre de connaissances sur la biologie de la truffe, font défaut (CALLOT

et al., 1999). Grâce aux travaux de BARRY (1992), BARRY *et al.* (1993, 1994, 1995), CALLOT *et al.* (1999), les études sur les relations entre la truffe et le sol ont considérablement avancées.

Différentes espèces de *Tuber* ont servi de modèles pour les études biologiques et physiologiques du mycélium truffier et des truffes (*T. melanosporum*, *T. magnatum*, *T. uncinatum* *T. aestivum*). *Tuber mesentericum*, qui fait l'objet de notre étude, a rarement été utilisée. C'est une truffe forestière, bien présente en Lorraine et notamment en Meuse, constituant un matériel intéressant pour l'étude de l'interface sol-truffe.

MATERIEL ET METHODES

Des ascocarpes de *Tuber mesentericum* ont été récoltés en automne (novembre 2000), sous Noisetier (*Corylus avellana*), dans la truffière expérimentale de Commercy (Meuse, Nord-Est de la France) située sur sol brun calcaire (CHEVALIER et FROCHOT, 1997).

L'étude de l'interface sol-truffe a été réalisée à différents niveaux d'observation : (i) à l'échelle du cm par des observations morphologiques ; (ii) à l'échelle du mm par des études micromorphologiques sur lames de sol ; (iii) à l'échelle du μm par des études ultrastructurales et de microanalyse. Nous avons complété cette étude par des analyses totales et celle des cations échangeables du sol entourant la truffe à différentes distances du périidium.

Techniques de prélèvement

Les truffes sont repérées sur place par un chien truffier qui les marque sans les déplacer. Le prélèvement de la truffe avec son sol environnant se fait par carottage à l'aide d'une boîte en aluminium dite boîte de Kubiena (boîte en aluminium à double fond de 50X90X60 mm). Cette technique de prélèvement permet de perturber le moins possible la structure du sol. Les boîtes sont ensuite amenées au laboratoire pour observation et traitement de leur contenu.

Observations morphologiques

Les truffes dans leur milieu sont observées immédiatement après récolte à la loupe binoculaire. Des fragments destinés à l'observation au microscope électronique à balayage sont alors prélevés avec précaution.

Etudes micro-morphologiques

Les blocs de sol contenant la truffe sont imprégnés par une résine d'imprégnation (Norsodyne) selon la méthode de FITZPATRICK et GUDMUNSSON (1978). L'eau contenue dans l'échantillon de sol, non miscible avec la résine et gênant la suite des opérations, doit être éliminée. Pour cela, l'échange est fait avec de l'acétone en trempant l'échantillon, aussitôt après son prélèvement, dans de l'acétone pure renouvelée trois fois en une semaine. Les échantillons sont ensuite rapidement égouttés pendant 1h puis imprégnés, sous

vide, dans un dessiccateur, par capillarité pendant une durée de 4h. Après imprégnation, la polymérisation de l'échantillon est réalisée dans une étuve ventilée à 30° C pendant une durée de 4 à 5 semaines.

Des sections de quelques millimètres d'épaisseur sont effectuées à l'aide d'une tronçonneuse à lame diamantée, sur les blocs de sol polymérisés. Elles sont ensuite polies sur une face, collées sur une lame de verre et rectifiées à la machine (rectifieuse) puis manuellement dans le but de confectionner des lames minces d'une épaisseur finale de 20 à 25 µm.

Ces lames sont destinées à être observées directement à la loupe binoculaire et au microscope optique, en lumière naturelle ou en lumière polarisée. D'autres, non couvertes, sont réservées pour l'étude ultrastructurale et la microanalyse au microscope électronique à balayage.

Etudes ultrastructurales au microscope électronique à balayage

Elles sont réalisées après deux types de traitements : (i) sur les lames minces précédemment décrites ; (ii) à partir de morceaux de truffe fraîche en contact avec le sol, délicatement prélevés sous la loupe binoculaire, fixés par des vapeurs de tétroxyde d'osmium à 4% pendant 48h, à basse température, puis placés dans un dessiccateur en présence de silicagel pendant quelques jours avant d'être métallisés par du carbone. Les observations sont effectuées grâce à un microscope électronique à balayage Hitachi.

Analyses du sol

Deux types d'analyses du sol de la truffière sont réalisés : (i) une analyse des cations échangeables par extraction au NH₄Cl (0,5N), (ii) une analyse totale des éléments constitutifs par la méthode dite de fusion.

Le sol est prélevé à différents niveaux : (i) le sol en contact direct avec la truffe, très fortement adhérent et formant une gangue périphérique; (ii) le sol périphérique non adhérent ; (iii) le sol éloigné du lieu de récolte de la truffe.

RESULTATS

Observations morphologiques

Sortie du sol, la truffe mésentérique conserve une gangue de terre périphérique, fortement adhérente au périidium, et dans laquelle se trouvent des racines de noisetier portant des mycorhizes et/ou de plantes herbacées de la truffière (Fig. 1). La fossette bien marquée qui caractérise cette espèce de truffe, peut également constituer un espace de développement pour les racines (Fig. 2).

L'observation à la loupe binoculaire de sections de truffe (Fig. 3) montre que la gangue périphérique est étroitement accolée au périidium.

Après avoir détaché la gangue de la truffe sous la loupe binoculaire, on peut observer, à la surface de la truffe, le départ de nombreuses hyphes regroupées et formant des houppes mycéliennes aux sommets des écailles du périidium (Fig. 4).

L'enlèvement de la gangue conduit à la cassure d'un grand nombre de ces hyphes qui colonisent la gangue périphérique mais aussi l'environnement proche de la truffe. A cause de leur fragilité et de leur cohésion avec le sol, elles sont arrachées de la truffe à la suite de toute perturbation du sol.

Sous la gangue, à la surface du péridium, des cristallisations peuvent être observées à la loupe binoculaire (Fig. 5).

Observations ultrastructurales

L'observation au microscope électronique à balayage de la surface et des sections de truffe permet de confirmer la forte cohésion du sol à la truffe : le péridium, bien identifiable par rapport à la gléba, montre à sa surface des contacts intimes avec la gangue périphérique (Fig. 6).

Les hyphes des houppes mycéliennes présentent des surfaces pariétales plus ou moins lisses (Fig. 7) et qui peut s'ornementer de protubérances évoquant parfois des cristallisations (Fig. 8). Certaines hyphes voisines peuvent se rapprocher et être accolées entre elles par un matériel d'adhésion (Fig. 9).

Observations des lames minces et microanalyse

L'observation des lames minces de truffes et de leur sol environnant (Fig. 10) montre d'une part la gangue périphérique accolée à la truffe, et d'autre part, des agrégats plus ou moins séparés du sol environnant mais non adhérent. Cette organisation particulière en agrégats bien individualisés du sol dans lequel se développe la truffe correspond à un milieu à structuration lâche et aérée qui empêche tout compactage et favorise le grossissement de la truffe.

Les résultats obtenus par la microanalyse effectuée sur des lames minces au microscope électronique à balayage (Fig. 11) montrent une nette différence dans la répartition de certains éléments (calcium, magnésium, potassium) entre le sol adhérent, à quelques microns de la truffe, et les agrégats non adhérents et souligne la richesse en éléments minéraux de la gangue très proche par rapport aux zones plus éloignées de la truffe.

Analyses du sol

La répartition des éléments dans les cendres des différents échantillons et des cations échangeables des sols est présentée dans les tableaux 1 et 2.

Aucune différence significative n'apparaît entre les résultats de l'analyse totale des différents types d'échantillons. Par contre, l'analyse des éléments échangeables montre que les quantités de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ échangeables sont nettement plus importantes dans le sol adhérent à la truffe que dans le sol éloigné.

Les analyses du tableau 2 indiquent qu'il s'agit là très certainement d'éléments échangeables localisés au niveau de la zone de contact sol – truffe. D'autres éléments recherchés sont présents en moindre quantité.

DISCUSSION

Les observations faites sur l'ascocarpe de *Tuber mesentericum* sont à rapprocher de celles effectuées sur d'autres truffes à péridium écailléux : *T. melanosporum*, *T. aestivum*, *T. uncinatum* (CALLOT *et al.*, 1999). Comme chez ces espèces, l'ascocarpe développe des houppes mycéliennes qui constituent un continuum entre le sol et l'intérieur de la truffe. Ces filaments mycéliens participent aux transferts de l'eau et des éléments nutritifs vers l'ascocarpe (BARRY *et al.*, 1993). Ils colonisent les agrégats du sol environnant, mais aussi la matière organique présente dans le micro-environnement de la truffe (racines et mycorhizes mortes, fragments de feuilles ou de rameaux).

Les houppes mycéliennes, constituées dans le cas de *Tuber mesentericum* de nombreux filaments parfois accolés et souvent à surface lisse, se développent dans et autour des agrégats voisins de la truffe (constitués pour l'essentiel de déjections de vers de terre). Il en résulte autour de la truffe une organisation particulière en agrégats bien individualisés qui assure une structure lâche et aérée du milieu dans lequel naît et se développe la truffe. Cette structuration permet le décompactage du sol et favorise le grossissement de la truffe. Les filaments des houppes mycéliennes explorent cet environnement spécifique et y prélèvent les nutriments nécessaires au développement de la truffe.

T. mesentericum montre en surface de son péridium des plaques qui sont très riches en carbonate de calcium, comme CALLOT et GUYON (1990) l'ont montré sur d'autres espèces de *Tuber*. Ces précipitations sont en relations avec des sécrétions polysaccharidiques favorisant ces précipités auxquels sont parfois associés des sels de calcium d'acides organiques (oxalates) (CALLOT *et al.*, 1999).

Les observations faites sur l'ascocarpe de *T. mesentericum* à différentes échelles ont mis en évidence l'existence d'une gangue périphérique discontinue autour de la truffe, nettement adhérente, plus riche en éléments nutritifs qui correspondent, d'après les résultats analytiques obtenus, à des éléments échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+). Ces observations sont importantes pour comprendre l'environnement ionique de la truffe et les appels trophiques vis-à-vis des organismes (racines ou faune du sol) créés par la présence de ces cations échangeables.

Les autres truffes à péridium écailléux sont également enveloppées d'une couche de terre adhérente, qu'il est nécessaire de broser avant la consommation. La présence de racines portant des mycorhizes dans cette gangue et leur développement jusque dans la fossette prouve que leur croissance est postérieure à la formation de l'ascocarpe. Elles pourraient profiter de la richesse cationique de la gangue pour assurer leur nutrition.

Une telle extension racinaire autour des truffes pourrait être spécifique à certaines espèces. Les ascocarpes de *T. melanosporum* n'en montrent pas. Ceci traduirait un comportement différent, des différentes espèces de truffes, vis-à-vis de leur micro-environnement et des autres composantes de l'écosystème truffier.

CONCLUSION

Les observations et les études présentées ici soulignent l'importance de l'interface sol-truffe et du micro-environnement de la truffe. L'étude de leur dynamique permet une meilleure approche de la connaissance de la biologie de la truffe. Nous n'avons présenté ici que des résultats préliminaires mais qui paraissent déjà prometteurs car ils mettent en évidence l'importance de la structuration du sol autour de la truffe et des conséquences nutritives pour les organismes vivants de l'écosystème truffier.

Il apparaît que, chronologiquement, l'ascocarpe de la truffe mésentérique, au cours de son grossissement, modifie son micro-environnement immédiat qui devient plus riche en éléments importants pour la nutrition tel que le calcium et ceci pour une part sous forme échangeable. Des racines de la plante hôte (ici, le noisetier) et/ou de plantes herbacées accompagnatrices se développent dans ce milieu favorable, sans être perturbées par la truffe. La comparaison avec les truffes d'autres espèces suggère que *T. mesentericum* posséderait un comportement de tolérance vis-à-vis des systèmes racinaires avoisinants, ce qui ne serait pas le cas de *T. melanosporum*. De par cette différence de comportement, *T. mesentericum* peut représenter un modèle intéressant pour l'étude de la dynamique d'un écosystème truffier différent de celui de *T. melanosporum*.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRY D., 1992 - Croissance et fonctionnement d'un ascocarpe au stade adulte de *Tuber melanosporum* et *Tuber aestivum*. Etude structurale des hyphes externes et approche expérimentale de leur fonction. Thèse de Doctorat Sciences Agronomiques, ENSAM Montpellier.
- BARRY D., CALLOT G., JANEX-FAVRE M.C., PARGNEY J.C., PARGUEY-LEDUC A., 1993 - Morphologie des hyphes externes observées sur le périidium des *Tuber* à écailles : évolution au cours du développement de l'ascocarpe. *Can. J. Bot.*, **71**, 609-619.
- BARRY D., STAUNTON S., CALLOT G., 1994 - Mode of the absorption of water and nutrients by ascocarps of *Tuber melanosporum* et *Tuber aestivum*. A radioactive tracer technique. *Can. J. Bot.*, **72**, 317-322.
- BARRY D., JAILLARD B., STAUNTON S., CALLOT G., 1995 - Translocation and metabolism of phosphate following absorption by the ascocarps of *Tuber melanosporum* et *Tuber aestivum*. *Mycol. Res.*, **99**, 167-172.
- CALLOT G., GUYON A., 1990 - Microstructural analysis of the truffle ascocarp, interface during development. *In Proc. of 14th Inter. Congress of Soil Science*, Kyoto, Japon, 256-261.
- CALLOT G., BYE P., RAYMOND M., FERNANDEZ D., PARGNEY J.C., PARGUEY-LEDUC A., JANEX-FAVRE M.C., MOUSSA R., PAGES L., 1999 - La truffe, la terre, la vie. INRA Ed.
- CHEVALIER G., FROCHOT H., 1997- La truffe de bourgogne (*Tuber uncinatum chatin*). Ed. Pétrarque – Levallois-Perret, 257 p.
- FITZPATRICK E.A. and GUDMUNDSSON, T., 1978- The impregnation of wet peat for the production of thin sections. *J. Soil Sci.*, **29**, 585-587.

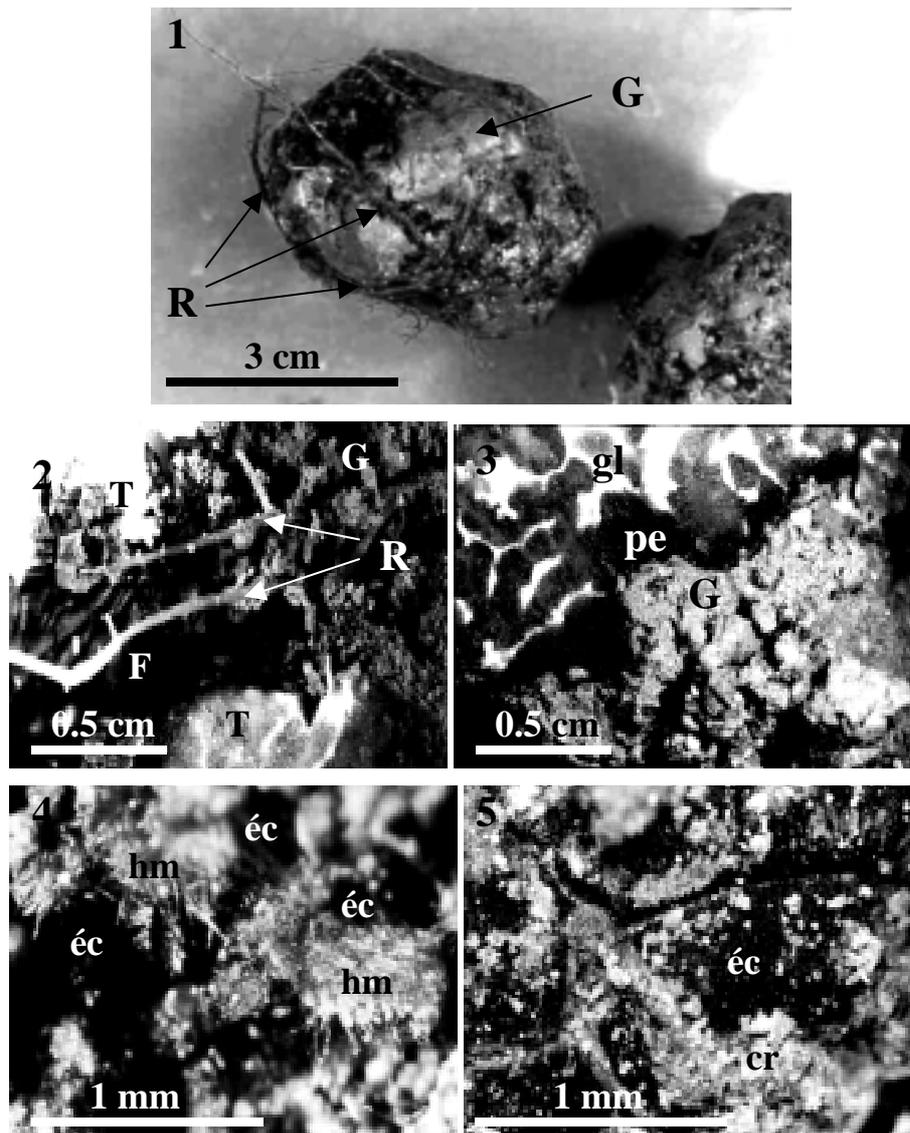


Fig. 1 - Morphologie externe de l'ascocarpe à la récolte entouré d'une gangue de sol (G) dans laquelle se sont développées des racines (R).

Fig. 2 à 5 - Observations à la loupe binoculaire

Fig. 2 - Section de la truffe (T) au niveau de la fossette caractéristique de l'espèce (F) dans laquelle s'engagent de jeunes racines (R) se développant dans la gangue (G). **Fig. 3** - Section de truffe montrant la gléba (gl), le péridium (pe) et son interface avec la gangue (G). **Fig. 4** - Houppes mycéliennes (hm) aux sommets des écailles du péridium (éc). **Fig. 5** - Cristallisations (cr) à la surface des écailles (éc).

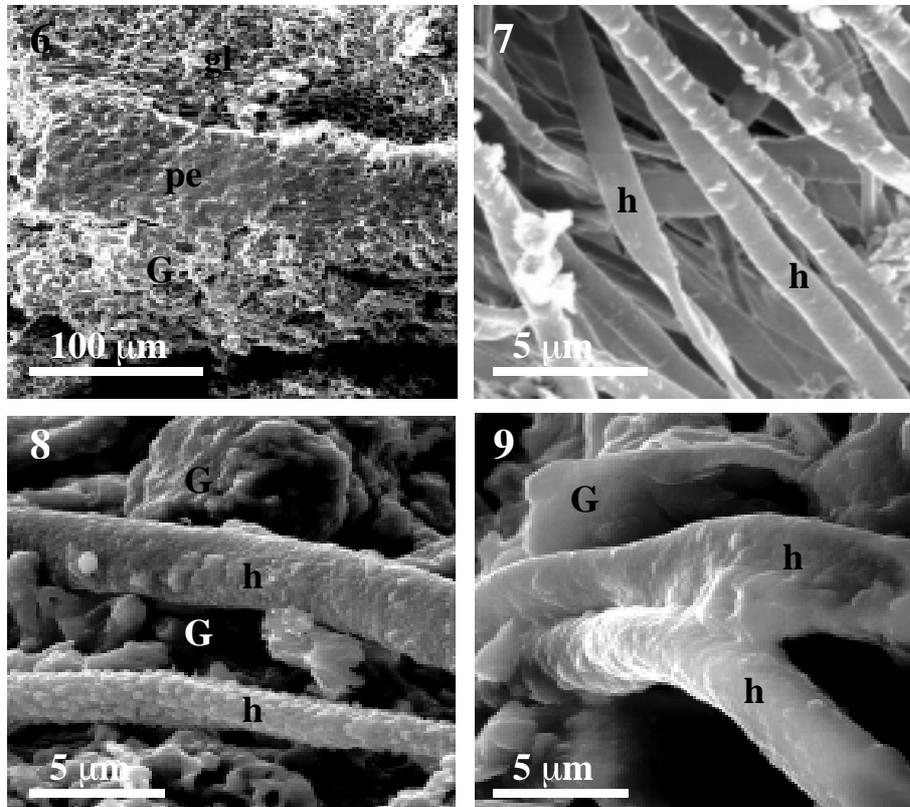


Fig. 6 à 9 - Observations au microscope électronique à balayage

Fig. 6 - Section de truffe montrant la gléba (gl), le péridium (pe) et son interface avec la gangue (G) (x 300). **Fig. 7 à 9** - Divers aspects d'hyphes (h) formant les houppes qui pénètrent dans la gangue (G). **Fig. 7 et 8** - Hyphes (h) à surfaces pariétales plus ou moins lisses (x 2500 et x 3000, respectivement). **Fig. 9** - Deux hyphes accolées (x 10000).

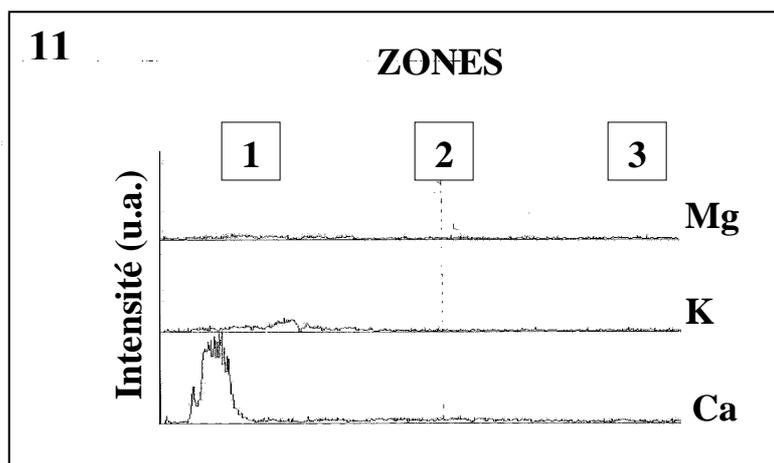
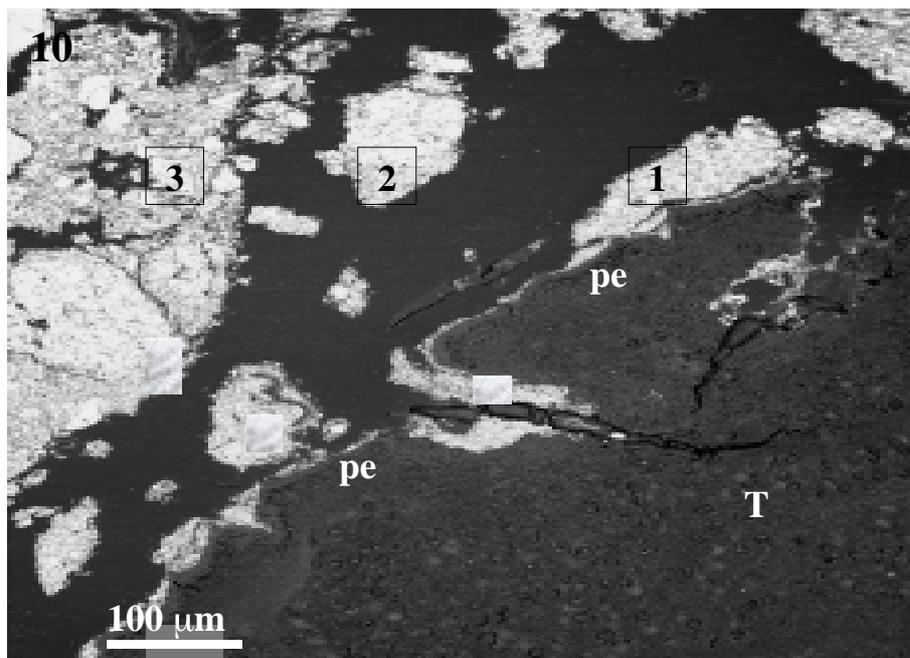


Fig. 10 - Section de truffe (T) d'une lame mince observée au microscope électronique à balayage montant autour du périidium (pe), la gangue (1) et le sol environnant (2 et 3) (x 25).

Fig. 11 - Profils analytiques linéaires de concentration de 3 éléments détectés sur un transept passant par les zones notées sur la figure 10 ; (u.a. : unité arbitraire).

MODELE DE FORMATION DES GISEMENTS DE CUIVRE-COBALT DU SHABA EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

A GENETIC MODEL OF SHABA CUPER-COBALT MINES SERIES, DEMOTRATIC RESPUBLIC OF CONGO

par René Lokoho OKITAUDJI

* Université de Lubumbashi, Shaba, République Démocratique du Congo

* Ecole Nationale Supérieure de Géologie Nancy - France

* 14, Rue de Parme 54500 Vandoeuvre les Nancy

Résumé : Les gisements de cuivre-cobalt du Roan moyen (1000-600 M.A.) du Shaba, République Démocratique du Congo sont associés à des écailles (blocs) de la « Série des Mines ». Ces écailles extrusives affleurent en surface grâce à la tectonique panafricaine. Les études sédimentologiques basées sur les faciès sédimentaires (terrignés et biolitiques) ont permis d'identifier sur le terrain des séquences sédimentaires à différentes échelles (microséquences d'ordre millimétrique à décimétrique, séquences au sens strict d'ordre métrique à décamétrique, mégaséquences d'ordre décamétrique à la centaine de mètres). Une étude des corps (séquences) sédimentaires et des corps minéralisés montre que les corps minéralisés occupent la base et le milieu de séquences, quelle que soit l'échelle. Cette étude a permis aussi de conjecturer la paléogéographie de la mer roanienne ("Mer épicontinentale, évaporitique"). La synthèse des résultats d'analyses sédimentologiques, pétrographiques et géochimiques permet de proposer un modèle de mise en place des gisements étudiés. La tectonique panafricaine, par extrusion, amène en affleurement les écailles (blocs) de la série déjà minéralisée. Ainsi, les gisements de l'Arc cuprifère du Shaba doivent leur allure générale à une paléogéographie contrôlée par un découpage tectonique, et leur morphologie de détail à des remobilisations successives des métaux, liées à des transferts de fluides précoces ou tardifs, au sein d'un paléo-rift avorté.

Mots clés : Tectonique panafricaine, rift avorté, mer épicontinentale, paléogéographie, réduction bactérienne des sulfates marins, remaniements synsédimentaires, diagenèse, syndiagenèse, re-mobilisations.

Note présentée à la séance du 19 avril 2001, acceptée le 30 novembre 2001.

Abstract : The Copperbelt ore bodies of Shaba "Mines Series" (1000-600 M.Y.) were localized in a evaporitic sequence who has upthrust or extruded during Panafrican compression. The Pre Roan tectonic controled the strateband sequences. The mineralization occurs in stratiform bodies. The depositional environnement was epicontinental evaporitic sea where dolomites and sulphates sedimentation occured. Sediments of detritic and volcanodetritic origin were also deposited periodically. The concentration of Cu-Co stratiform sulfides is localized at the base and in the middle of the sedimentary sequences. Bacterial activity is believed to have produced disseminated orebodies through the reduction of sulfates. This syndiagenetic (syndimentary) sulfides depositional orebodies acquired their present facies by metamorphogetic and supergenetic remobilization. A model of geodynamic control of Roan mineralisation has been proposed following sedimentological, petrographical and geochemical studies. The morphology of the orebodies is through to be a result of successive redistribution of metals linked to late transfer of fluids in the aborted paleorift.

Key Words : Aborted paleo-rift, epicontinental-sea, panafrican compression, upthrust, Bacterial activity, syngensis (congruence), diagenetic, syndiagenetic, sedimentary reworked, remobilization.

INTRODUCTION

Situation géographique et économique

Les mines de cuivre et cobalt exploitées au Shaba (République Démocratique du Congo) confèrent à ce pays une position géostratégique de premier plan en Afrique centrale. Sur le plan économique, avant 1991 la production était de 500 000 tonnes de cuivre métal et d'une douzaine de tonnes de cobalt métal. Ces deux métaux, à eux seuls, fournissaient les 70 % des ressources du pays en devises. Ces ressources minières constituaient, en outre, une bonne garantie de remboursement des prêts contractés par le Congo auprès des organismes de la communauté internationale. Aujourd'hui cette production a considérablement chutée. Elle n'est plus que de 50 000 tonnes de cuivre métal et de quelques milliers de tonnes de cobalt. Cette baisse de production devient un frein au développement du pays. Aujourd'hui plus que jamais, la maîtrise des techniques minières devient un impératif pour la République Démocratique du Congo. On comprend alors la place du géologue et du mineur dans ce pays.

Problématique

Depuis que le géologue belge Jules Cornet a découvert en 1892 ces gisements de cuivre et cobalt qu'il a qualifiés de "scandale géologique", les exploitations mécanisées ont vu le jour. Jadis, ils étaient exploités par les autochtones pour fabriquer les croisettes. Il s'en est suivi un certain développement régional et national. Pour améliorer l'exploration et les exploitations, les géologues qui travaillaient dans le secteur se sont confrontés à deux types de problèmes : un problème relatif à la clarification des connaissances sur l'environnement géologique,

support des minéralisations, et un problème lié aux modèles de mise en place des minéralisations. Plusieurs modèles ont été proposés. On rencontre des modèles épigénétiques liés aux circulations hydrothermales, avancés par Thoreau et du Thriou de Terdonck (1932), Derricks et Oosterbosch (1958), Cahen (1974), Ngongo Kashisha (1975), Lefebvre et Patterson (1982), Unrung (1988). On trouve aussi le modèle lié aux fluides d'origine métamorphique, défendu par Audeoud (1982). Il existe également des modèles diagénétiques liés aux percolations postérieures au dépôt de la série des mines par des saumures riches en cuivre et en cobalt : Bartholomé et Katekesha (1971), Bartholomé (1974) et Cailteux (1983). Il y a une dizaine d'années, Okitaudji (1989) a mis au point le dernier modèle qui soutient la thèse d'une mise en place des minéralisations par des processus syndiagénétiques *in situ*, suivi des remobilisations polyphasées.

On ne doit pas oublier que le climat de cette région est de type intertropical (équatorial) humide marqué par des pluies torrentielles. Les eaux de ces pluies produisent des altérations supergènes pouvant aller jusqu'à des profondeurs de plusieurs dizaines voire-même centaines de mètres. Elles contrôlent ainsi des phénomènes karstiques se traduisant par des lessivages et des re-concentrations plus ou moins importantes des éléments chimiques. Du fait que les structures et textures primaires ont été le plus souvent effacées, les géologues de la région décrivent et interprètent parfois à tort et à travers les observations.

OBJECTIFS ET METHODE

En effet, une étude de la géologie minière en milieu sédimentaire, pour être satisfaisante, doit s'appuyer sur :

- la connaissance de la situation géotectonique de la région ou du bassin,
- la connaissance des environnements sédimentaires,
- la connaissance des rapports qui existent entre les sédiments et les corps minéralisés.

C'est en travaillant dans cette optique que l'on est arrivé à conjecturer la paléogéographie du bassin et positionner l'organisation des minéralisations dans l'histoire sédimentaire de la série étudiée. De là, le fondement d'une théorie génétique «Concentration syndiagénétique du cuivre et cobalt dans la région » acquiert un sens.

CADRE GEOTECTONIQUE ET GEOLOGIQUE

A la fin de l'orogénèse kibarienne (1300 à 1000 M.A.), il y a eu selon Kroner (1977), une cratonisation (fig. 1) qui a donné un rift avorté séparant le craton du Kalahari au Sud et le craton du Congo au Nord. C'est dans ce rift avorté que la mer roanienne qui est à l'origine des séries sédimentaires de l'Arc cuprifère du Shaba s'est installée. Localisée dans une dépression orientée Sud-est - Nord-ouest (fig. 2), cette dépression se trouve au croisement de l'orogénèse kibarienne (1300 M.A.) et l'orogénèse lufilienne (500-600 M.A.) (fig. 1). Elle est bordée au Sud et au Sud-est par les massifs anciens de Kabompo, Solwezi, Konkola, Luina et Mokambo.

Ces massifs sont constitués de quartzites, de micaschistes, gneiss et des vieux granites rouges antécambriens (> 2000 M.A.), et de quartzites, de schistes ainsi que des granites gris d'âge kibarien (> 1000 M.A.). Au Nord et au Sud-ouest, la

dépression est bordée par les massifs kibariens, les plateaux de Kundelungu et de Bianco.

Dans la région, sur le plan stratigraphique, Cahen (1974) et François (1963), ont montré que l'on rencontre de bas en haut, des roches antékibariennes, kibariennes (> 1300 M.A.) et katangiennes (1000 à 500 M.A.). A la base du Katangien, on a la "Série des Mines" qui porte les minéralisations de cuivre et de cobalt. A son sommet, on a le Kundelungu qui porte aussi des minéralisations de type « blende – galène – pyrite », au sein de l'étage appelé Kakontwe. Le modèle que l'on présente ici se rapporte aux minéralisations de la Série des Mines. Cette "Série des Mines" est constituée de bas en haut, du Roan inférieur porteur des roches silico-détritiques et dolomitiques rouges non minéralisées, du Roan moyen porteur de roches silico-détritiques et dolomitiques grises à noires, souvent minéralisées économiquement, et du Roan supérieur constitué de roches silico-détritiques et dolomitiques grises à blanchâtres, non minéralisées économiquement (fig. 3).

L'épisode tectonique panafricain (600 à 500 M.A.) a découpé la "Série des Mines" en blocs de diverses dimensions (plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres) appelés «écailles» au Shaba. Ces écailles, qui devaient normalement se trouver à plusieurs milliers de mètres sous les sédiments du Kundelungu, affleurent anormalement en surface, de manière intermittente, dans une aire de 50 km x 300 km, par charriage (François, 1963, 1973) ou par extrusion (Okitaudji, 1989).

ENVIRONNEMENT SEDIMENTOLOGIQUE ET PLACE DES MINERALISATIONS

Une étude lithostratigraphique précise de la "Série des Mines" a été réalisée lors de l'étude sédimentologique fine (Okitaudji, 1989, 1992) (fig. 3). Elle a permis de préciser les faciès sédimentaires et leurs enchaînements dans l'espace et dans le temps au sein des séquences. Elle a permis aussi d'identifier les séquences et leur organisation spatio-temporelle. Les conclusions de cette étude ont été les suivantes : "L'étude sédimentologique de la Série des Mines du Shaba instruit sur l'organisation spatiale des corps sédimentaires (séquences) et des corps minéralisés du Roan moyen. L'analyse des échantillons provenant d'Etoile, Rwashi, Kambove et Kolwezi a permis de reconstituer la séquence type, la place des corps minéralisés en son sein, l'environnement sédimentologique de sa mise en place. La séquence type est d'ordre métrique à décamétrique. Elle porte en sa base un faciès silico-détritique porteur des minéralisations organisées en corps stratiformes congruents à l'organisation des sédiments. En son milieu on rencontre une alternance de faciès à laminites de siltites, alguaires et dolomitiques, allant du millimètre à plusieurs décimètres en passant par le centimètre, aussi les petits corps minéralisés économiquement sont congruents aux laminites d'origine sédimentaire. Au sommet de la séquence type, on rencontre le faciès biolitique constitué par des dolomies stromatolitiques massives, parfois scoriacées par des phénomènes de dissolution. Ce faciès est généralement stérile économiquement, à l'exception des endroits fortement karstifiés. Quant à l'analyse séquentielle, elle montre que les sédiments et les corps minéralisés se sont organisés à diverses échelles. Les séquences d'ordre inférieur à la séquence type sont appelées microséquences (millimétriques à décimétriques). Les faciès à laminite relèvent de

cette organisation. Les séquences d'ordre supérieur à la séquence type sont appelées mégaséquences (décamétrique à plusieurs centaines de mètres). Ici les corps minéralisés sont stratiformes et congruents aux couches sédimentaires. Quelle que soit l'échelle de la séquence, les minéralisations se trouvent à la base et ceci en congruence avec les strates. L'agencement des séquences dans le temps et dans l'espace vertical montre que les séquences d'ordre inférieur s'emboîtent dans celles d'ordre supérieur. Elles sont donc avec les corps minéralisés en leur sein en structure gygogne ou emboîtée. La combinaison de ces résultats avec ceux de l'organisation séquentielle dans l'espace latéral montre que la série minéralisée qui résulte, elle-même, de l'empilement des séquences et des minéralisations en leur sein, à diverses échelles a pris place dans une mer épicontinentale frangeant le continent. Là s'affrontent deux dynamiques sédimentaires complémentaires : d'une part, une dynamique d'élaboration sur place d'un ciment carbonaté et sulfaté, et d'autre part, une dynamique d'alimentation régulière du bassin marin par des sédiments terrigènes (silico-détritiques) provenant du lessivage continental".

Cette étude a montré que les thèses défendant la minéralisation des roches du Roan moyen par une percolation postérieure des solutions riches en cuivre sont moins rigoureuses dans leurs démarches ; ceci d'autant plus qu'elles n'arrivent pas à expliquer la congruence des corps sédimentaires et corps minéralisés à toutes les échelles.

Le modèle qui est exposé ci-dessous prend en compte les résultats d'une analyse sédimentologique fine (analyse séquentielle), d'observations des bactéries fossiles et d'analyse des isotopes du soufre (sulfates et sulfures : prochaine communication) (Okitaudji, 1989, 1992, 2001).

MODELE DE FORMATION DES GISEMENTS DE CUIVRE ET COBALT DU SHABA

Ce modèle s'articule sur une superposition de trois métallotectes : syndiagénétique, métamorphogène et supergène (fig.4).

MODELE SYNDIAGENETIQUE DES MINERALISATIONS

• Installation d'un bassin inter-cratonique antérieur au Roan

Le rift avorté de l'Arc cuprifère du Shaba a favorisé l'installation d'un bassin marin à fond irrégulier, peu profonde. Cette mer épicontinentale à sédimentation chimique reçoit régulièrement, au cours des premières phases, des sédiments terrigènes volcano-détritiques et tuffacés du Roan inférieur. Ces sédiments possèdent de pré concentrations notables en cuivre et cobalt.

• Installation d'une vie algaire

Au fur et à mesure que le bassin évolue, les cyanobactéries s'installent et forment des structures stromatolitiques caractéristiques des zones sub-tidales, inter-tidales et supra-tidales au sein d'une séquence type (Okitaudji, 1989, 1992). Quand la série est constituée, on les observe de manière séquentielle. Leur dépôt a été alors syngénétique. Ces structures algaires portent en leur sein des bactéries fossiles minéralisées (Okitaudji, 1989, 2001). Ces cyanobactéries ont contrôlé la production de H_2S , SH^- et S^{2-} nécessaires à la sulfuration des métaux.

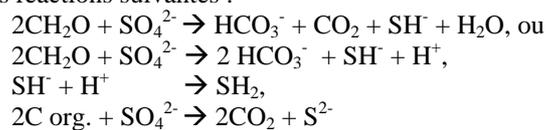
- **Installation d'un front d'oxydation et dépôt des sulfures syngénétiques**

Les sédiments silicodétritiques se déposent dans un environnement sub-tidal où le confinement favorise l'installation d'un front d'oxydo-réduction sous lequel le Eh est négatif. Ce front sépare la partie supérieure où dominent les conditions oxydantes de la partie inférieure où règnent les conditions réductrices. Il est contrôlé par les conditions évaporitiques du bassin et par l'activité bactérienne. Il est question ici d'examiner le déroulement du film migratoire du front vers le haut ou vers le bas et d'évoquer l'influence de cette migration sur la sulfuration des métaux. L'examen de ce film permet d'évoquer la typologie de dépôts primaires de sulfures syngénétiques.

Trois variantes sont examinées. Elles facilitent l'interprétation des observations faites, en temps réel, sur le terrain et affirment les explications typologiques fiables.

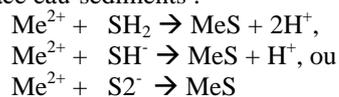
1) Le front d'oxydoréduction se place au-dessus de l'interface eau-sédiments (fig. 4a)

L'eau douce d'origine continentale, acide et oxydante, arrive dans le bassin marin. Elle se met en équilibre avec l'eau marine salée, sulfatée et carbonatée. Il s'opère des dissolutions de sulfates et de carbonates présents dans les sédiments. Les ions sulfatés libérés à l'occasion de telles dissolutions et les ions sulfatés déjà présents dans l'eau sont réduits par les bactéries désulfo vibrio en H₂S, SH⁻ et S²⁻, selon les réactions suivantes :



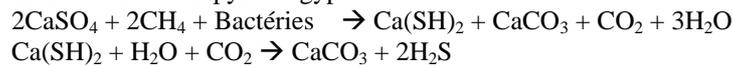
Dans le cas envisagé le front d'oxydoréduction se trouve dans l'eau qui surincombe l'interface eau-sédiment. Lorsque dans une mer évaporitique ce front est au-dessus du sédiment, les eaux et les sédiments ainsi que les fluides interstitiels situés sous le front sont chargés en SH₂, SH⁻, S²⁻.

Ces composés constituent un piège pour les ions métallifères (Me²⁺) présents en solution et en adsorption sur les minéraux des argiles et sur les particules finement divisées comme l'hydroxyde de fer. Il s'opère donc une précipitation des métaux sous forme de sulfures, ceci de manière syngénétique dans les sédiments et à l'interface eau-sédiments :



Au même moment il se réalise une diagenèse précoce des minéraux qui se trouvent dans les sédiments en cours d'enfouissement. Là, les sulfates s'épigenisent

en carbonates, en chert ou en quartzine d'une manière très précoce comme cela se réalise dans les roches à diapire de gypse :



La production syndiagénétique de H_2S , SH^- , S^{2-} permet, comme dans le cas mentionné ci-dessus, une précipitation syndiagénétique des sulfures.

Les roches étudiées étant riches en Mg, les carbonates qui se forment sont des dolomites syndiagénétiques. On notera, au passage, que dans les inclusions fluides des roches étudiées on trouve du CO_2 et du CH_4 résultant de la dégradation de la matière organique au cours de ces processus syndiagénétiques.

Ce modèle permet d'expliquer la manière dont se sont déposés les sulfures primaires dans les gisements que l'on nomme "faciès de type Mussonoi" dans l'Arc cuprifère du Shaba. Dans les roches de ce faciès la minéralisation est intense et riche, ceci à divers degrés, aussi bien dans les microséquences, séquences que dans les mégaséquences de la "Série des Mines".

2) Le front d'oxydoréduction se place au niveau de l'interface eau-sédiments (fig. 4b)

Ici la migration du front vers le bas, occasionne des variations en ce qui concerne l'apparition et la concentration des sulfures dans les sédiments. Si le front d'oxydoréduction a un temps de résidence suffisamment long au niveau de l'interface eau-sédiments, toutes les séquences sédimentaires situées en dessous sont bien minéralisées. Par contre, si le temps de résidence est relativement court, on note que la concentration de sulfures dans les séquences supérieures est assez faible. Les séquences situées à la base de la série sont par contre bien minéralisées.

Ce modèle de piégeage permet d'expliquer les minéralisations appelées faciès type Kilamusembu au Shaba. Là, les séquences de base sont bien minéralisées. Par contre, les séquences appartenant à la partie supérieure de la «Série des mines» sont moins bien minéralisées ou ne le sont même pas.

3) Le front d'oxydoréduction se place dans les sédiments (fig. 4c)

Ici, le front est en dessous de l'interface eau-sédiments. La colonne de sédiments qui surincombe ce front reste bien dans la zone oxydée, avec un Eh positif. On n'y observe pas de sulfures par manque de réduction de sulfates.

Sur le terrain, on constate que les roches appartenant au faciès oxydé du Roan inférieur (R.A.T. lilas) ne sont pas minéralisées. De même, toutes les séquences sédimentaires de la "Série des Mines" qui ont pris place dans des conditions semblables ne sont pas minéralisées.

Par contre, les sédiments situés sous ce front d'oxydoréduction étant chargés en H_2S , SH^- , S^{2-} les métaux sont piégés et précipitent sous forme de sulfures de cuivre, de cobalt et de fer syngénétiques.

Ce modèle de précipitation explique bien l'apparition des minéralisations que l'on rencontre dans les séquences appartenant aux faciès dits de type "Long". Ici,

seules les séquences de la partie inférieure de la "Série des Mines", appelées "ore body inférieur", sont minéralisées.

INTERPRETATION ET APPLICATIONS SUR LE TERRAIN

A la suite d'une étude sédimentologique (Okitaudji, 1989, 1992), l'analyse séquentielle de la Série des Mines a révélé une congruence des corps sédimentaires et des corps minéralisés, les minéralisations primaires occupant la base des séquences, ceci à toutes les échelles d'observation.

Cette même étude a montré que, de la séquence 1 (T1) à la séquence 3 (T3) les faciès sont de type oxydé ; ceci dans tout l'Arc cuprifère du Shaba (roches appelées "roches argilo-talqueuses lilas"). La séquence 4 (T4 : des roches argilo-talqueuses grises aux roches silicifiées cellulaires.) appelée "ore body inférieur" par les mineurs est de type faciès réduit et demeure minéralisée dans l'ensemble de l'Arc cuprifère du Shaba. Cette séquence est bien restée sous le front d'oxydoréduction lors du processus sédimentaire et de la diagenèse précoce. Les séquences 5 (T5), 6 (T6), 7 (T7), et 8 (T8) appartenant à la partie supérieure de la "Série des Mines" peuvent être, selon la zone isopique (faciès), minéralisées ou non. L'ensemble de ces séquences constitue ce que l'on appelle "ore body supérieur". Lorsque les séquences présentent peu de minéralisations économiques, on parle d'"ore body pauvre" alors qu'on parle d'"ore body stérile" lorsqu'elles ne portent pas de minéralisations économiques.

Les séquences stériles se trouvaient donc au-dessus du front d'oxydo-réduction lors de leur mise en place. En l'absence de la réduction bactérienne des sulfates, les conditions de sulfuration des métaux ne sont pas réunies.

Les séquences appartenant au faciès de la zone isopique dit "Long" ont pris place dans des micro-bassins appartenant aux panneaux surélevés, en direction du Nord du rift avorté. Le temps de leur résidence au-dessus du front d'oxydoréduction a été suffisamment long pour n'avoir pas favorisé le dépôt de sulfures.

Au sud de la zone isopique ayant donné les faciès de type Long, on rencontre les faciès de type Kilamusembu. Les séquences appartenant à ce type de faciès ne portent pas beaucoup de minéralisations économiques dans la partie supérieure de la série étudiée. On les qualifie de "faciès pauvres". Les séquences se trouvaient, tantôt sous le front d'oxydo-réduction, tantôt au-dessus de celui-ci. L'importance des minéralisations dépend de la durée de leur résidence sous le front. C'est ainsi que les séquences qui occupent la base de la "Série des Mines" sont bien minéralisées parce que le temps de leur résidence sous ce front a été assez long pour permettre la réduction bactérienne des sulfates de manière permanente. Ces faciès ont pris place dans de micro bassins appartenant aux panneaux de la zone isopique moins surélevée que ceux ayant engendré les faciès de type "Long".

Encore, plus au sud du bassin sédimentaire roanien, au-delà de la zone isopique de type Kilamusembu, on rencontre les faciès de type "Musonoi". Ceux-ci ont pris place dans la partie centrale du rift avorté, dans les micro bassins associés aux panneaux les plus bas. Ici, les séquences appartenant à la partie inférieure comme celles appartenant à la partie supérieure de la série (depuis T4 à T8) sont bien

minéralisées à cause de la quasi permanence du soufre biogénique. L'ore body supérieur est aussi bien minéralisé que l'ore body inférieur.

Il est important de noter, au passage, qu'en général, depuis la séquence T4 à la séquence T10, on observe toujours un peu de sulfures, quelle que soit l'échelle ou l'endroit considéré au Shaba. Ceci signifie (Okitaudji, 1992) soit que :

- la durée de résidence d'une séquence ou d'une mégaséquence dans la zone réductrice a été courte,
- le confinement a été faible,
- la teneur en sulfates et/ou en stock métal a été insuffisant,
- l'activité réductrice des sulfates marins par les bactéries a été réduite.

CONCENTRATIONS ECONOMIQUES ET GISEMENTS EXPLOITABLES

Le modèle syndiagénétique présenté ici soutient le concept d'un piégeage précoce de métaux (cuivre et cobalt) au Shaba. Il permet d'expliquer l'architecture primaire des corps minéralisés congruents aux corps sédimentaires (séquences) dont ils occupent la base, quelle que soit l'échelle d'observation. Il s'éloigne par conséquent des modèles qui font intervenir les percolations postérieures des solutions minéralisatrices dans la "Série des Mines".

Cependant, ces premières concentrations ont été enrichies par la suite sous le contrôle :

- des remaniements synsédimentaires, accompagnés de dissolutions polyphasées qui ont joué, selon le cas, un rôle de reconcentration ou celui de dilution des concentrations primaires,
- des remobilisations très partielles des sulfures antécédents lors de la diagenèse d'enfouissement ou du léger métamorphisme subit par les méta-sédiments de la "Série des Mines",
- des circulations supergènes liées à l'eau d'origine météorique, atteignant parfois des profondeurs de quelques centaines de mètres (fig. 4d). Dans ce cas, elles ont joué un double rôle, selon que les circulations ont eu lieu au niveau des axes des anticlinaux, des synclinaux, le long des flancs ou encore le long des failles. On rencontre en effet:
 - * des sur-concentrations des minéralisations dans les pièges karstiques, aux niveaux des axes anticlinaux ou synclinaux, et le long des flancs,
 - * des lessivages, partiels ou complets, des minéralisations de part et d'autre des failles ou des diaclases. Ou encore on trouve des sur concentrations au niveau des fractures.

En somme, les gisements exploitables résultent donc d'une superposition des concentrations métallifères liées aux métallotectes primaires et secondaires.

PRESENTATION DES MODELES EXISTANTS ET DISCUSSION PARTIELLE

Depuis que Jules Cornet a qualifié en 1906 le Congo de "pays du scandale géologique" à cause d'énormes gisements de cuivre et cobalt du Shaba, on assiste à des progrès considérables, tant dans l'exploration, l'exploitation du cuivre et du

cobalt que dans la recherche scientifique relative à la typologie de ces gisements. La discussion qui suit résume les différents concepts développés concernant la formation des gisements du Shaba.

MODELE LIE A LA CIRCULATION DES FLUIDES HYDROTHERMAUX

Dans la première moitié du 20^{ème} siècle, les modèles liés à la circulation des fluides hydrothermaux pour la formation des gisements de minéraux métallifères étaient les plus courants en général. De même, les gisements du Shaba et de la Zambie ont été longtemps considérés comme étant le fruit des circulations hydrothermales métallifères, hypogènes, au sein des roches de la Série des Mines . Du côté du Shaba, Thoreau et Du Trieu de Terdonck (1932), Du Trieu de Terdonck (1958) ont été les premiers à avancer cette hypothèse. Ce courant d'idées s'est poursuivi avec Shuiling (1947), Derricks et Vaes (1955), Derricks et Oosterbosch (1958), Cahen (1974), Ngongo Kashisha (1975), Lefebvre et Patterson (1982). Du côté zambien, cette même hypothèse a été avancée par Gratton (1929) et soutenue par Gray (1930), Bateman (1930), Davidson (1931), Jackson (1932), Darnley (1960), Craig et Vaugan (1979), puis Annels *et al.* (1983). Ces derniers ont associé les venues hydrothermales avec les amphibolites. Les premiers se référaient aux remplacements minéralogiques pour les associer aux venues hydrothermales. Ils rattachaient les venues hydrothermales aux vieux granites rouges ou aux granites gris plus récents.

On peut noter cependant qu'aucun auteur n'a démontré les liens existant entre ces venues hydrothermales et les granites. On se souviendra que Cahen *et al.* (1967) ont montré que tous les granites (rouges ou gris) sont antérieurs au dépôt des sédiments ayant constitués la "Série des Mines". On comprend donc mal comment les granites ont pu fournir des solutions hydrothermales aux roches plus jeunes qu'eux. Par ailleurs, au Shaba comme en Zambie, personne n'a montré ni observé la présence d'une intense fracturation hydraulique ni les altérations hydrothermales caractéristiques des griffons. En outre, les modèles classiques de concentrations métallifères liées aux circulations hydrothermales se localisent soit dans les zones de rifts en cours d'ouverture, telle qu'on l'observe en Mer Rouge, soit dans les zones de subduction ou encore dans les zones de compression ainsi qu'on le rencontre dans la cordillère des Andes.

Au Shaba et en Zambie rien de tel n'a été démontré. Il convient d'avertir le lecteur de ne pas confondre les remobilisations minérales de la série minéralisée que l'on rencontre dans les diaclases et fissures postérieures aux dépôts primaires avec les minéralisations liées aux circulations hydrothermales d'origine hypogène. Celles-ci s'accompagnent généralement des altérations hydrothermales caractéristiques que l'on n'a pas au Shaba. Les minéralisations dont il est question ici sont liées, au contraire, aux circulations supergènes ou aux circulations des eaux de nappes souterraines (Okitaudji, 1989).

MODELE DE CIRCULATIONS HYDROTHERMALES LIEES A LA COMPACTION

Unrung (1988) évoque l'importante colonne de sédiments péllitiques du Kundelungu évaporitique, surincombant la "Série des Mines", et l'expulsion des

saumures enrichies en métaux de ces roches par compaction. Ces saumures réchauffées lors de l'enfouissement des sédiments se seraient propagées dans les horizons perméables de la "Série des Mines" sous-jacente qu'elles ont minéralisé.

Une remarque s'impose vis à vis de ce modèle métallogénique. Les minéralisations primaires de la "Série des Mines" s'observent sous forme de corps minéralisés concordants aux corps sédimentaires (quelle que soit l'échelle d'observation, depuis le millimètre jusqu'au décamètre et voire même la centaine de mètres, les minéralisations se trouvent dans les faciès silico-détritiques occupant la base de séquences (Okitaudji, 1989, 1992, 1997).

Il faut noter que personne n'a démontré jusqu'à présent la capacité d'un modèle hydrodynamique à organiser une séquentialité des corps minéralisés au sein des corps sédimentaires dont ils sont congruents, tels qu'on l'observe dans la "Série des Mines" du Shaba. Par ailleurs, on n'a pas encore identifié des intrusions magmatiques dans la série étudiée, source éventuelle de chaleur qui aurait pu faire fonctionner les circuits convectifs à l'échelle locale ou régionale. On comprend pourquoi, en Zambie les modèles fluidogénétiques n'ont pas eu de succès, après l'élaboration de la théorie syngénétique par Garlick et Fleicher (1976, fig. 5).

MODELE FLUIDOGENETIQUE

On doit à Bartholomé (1971, 1974) ce modèle lié à une percolation de la "Série des Mines" du Shaba par des saumures riches en cuivre et cobalt ainsi que Okitaudji a traduit la pensée de Bartholomé (fig. 6). Ces saumures, selon lui, provenaient d'une lagune kundelungienne, postérieure au dépôt de la série minéralisée. Ce modèle a connu deux modifications : Celle opérée par Katekesha (1975, fig. 7) et celle réalisée par Cailteux (1983, fig. 8).

Okitaudji (1989, 1997) rappelle ici la pensée de Bartholomé et les modifications qui ont suivi. Selon Bartholomé, «le dépôt du Roan inférieur est coiffé par une formation conglomératique constituée par les éléments des roches argilo-talqueuses lilas appartenant au Roan inférieur et les éléments des roches argilo-talqueuses grises appartenant au Roan moyen. On sait que le Roan moyen est constitué, des roches argilo-talqueuses grises minéralisées à sa base et des roches siliceuses cellulaires économiquement stériles, surmontées par des schistes dolomitiques minéralisés. Selon lui, la pyrite est le seul sulfure qui apparaît lors de la diagenèse précoce des sédiments. Par après, une lagune kundelungienne (postérieure à la série minéralisée en pyrite) contenant des saumures riches en cuivre et cobalt frangeant le bassin roanien a déversé ses saumures ainsi que son contenu métallifère dans la "Série des Mines". La percolation de ces fluides s'effectue à travers le conglomérat qui sépare les roches argilo-talqueuses lilas et grises, et, à travers les roches siliceuses cellulaires perméables. Lors de la progression des fluides, la pyrite précédemment formée au cours de la diagenèse réagissait avec les fluides riches en cuivre et cobalt pour donner les sulfures de cuivre et de cobalt qui constituent les gisements exploitables aujourd'hui. Pour lui, c'est le remplacement du fer de la pyrite par le cobalt au cours de la diagenèse qui a donné la pyrite zonée (pyrite cobaltifère au centre et carrolite en périphérie). Cette théorie a été reprise par

Brown (1978) pour expliquer les conditions de formation des minéralisations du Shaba et d'Australie.

La première variante de ce modèle est défendue par Katekesha (1975, fig. 6). Bien qu'étant l'élève de Bartholomé, il n'est pas convaincu de la présence du niveau conglomératique séparant le Roan inférieur du Roan moyen. Il ne voit donc pas comment ce niveau aurait pu servir de chenal d'amenée des saumures. Il n'envisage donc pas de percolation des saumures à travers cette formation, mais il croit que les R.S.C. (Roches siliceuses cellulaires) perméables ont servi de chenal d'amenée des saumures riches en cuivre et cobalt supposé par Bartholomé. Ces saumures ayant migré vers le haut et vers le bas de la série auraient minéralisé les roches sous-jacentes et les roches surincombantes aux R.S.C.. C'est ainsi qu'il explique la mise en place de l'ore body inférieur et l'ore body supérieur, séparés par les R.S.C.. Face à ce modèle, on peut se poser la question de savoir pourquoi les R.S.C. ayant servi de chenal d'amenée des fluides minéralisateurs ne sont pas économiquement minéralisées, elles-mêmes.

Cailteux (1983), ancien élève de Bartholomé, apporte la deuxième modification au modèle de Bartholomé. Pour lui, la lagune postérieure à la "Série des Mines", supposée par Bartholomé, a fonctionné en deux temps (fig. 8) :

- Pour le premier temps, la lagune déverse son contenu dans les roches du Roan inférieur sous-jacent les R.S.C. et les minéralise en donnant l'ore body inférieur.
- Pour le deuxième temps, la lagune déverse une seconde fois son contenu dans les roches qui surincombent les R.S.C. et les minéralise en donnant l'ore body supérieur.

Quant au processus de minéralisation, Cailteux (1994) comme Katekesha pensent aux transformations diagénétiques de la pyrite, au même titre que Bartholomé. Face au modèle de Cailteux, on peut se demander pourquoi cette lagune dont on ne connaît même pas les contours n'aurait fonctionné que deux fois et non pas "n" fois. Ce modèle comme les autres évoqués plus haut n'expliquent pas la séquentialité des corps minéralisés et des corps sédimentaires.

Les théories de Bartholomé, Katekesha et Cailteux sont fondées à partir des observations réalisées par Bartholomé (1974). Cet auteur en 1968 observe à Kamoto (Kolwezi) des pyrites cobaltifères zonées. (Il s'agit de pyrite dont le centre est constitué d'une pyrite cobaltifère et dont la périphérie est essentiellement cobaltifère). Pour lui, cette carrolite périphérique résulte du remplacement du fer de la pyrite par le cobalt d'origine lagunaire.

On notera que Okitaudji (1989, 1997) a fait le même type d'observation sur les échantillons pris au sein de la micro brèche surmontant la séquence T5 (BOMZ = Black ore mineralization zone), mais son interprétation que l'on lit ici est différente. « Cette brèche intra-formationnelle surmonte le diastème qui sépare le sommet de la séquence T5 et la séquence T6 dont elle constitue la base, à Kamoto. Au départ, les roches silico détritiques de la base de la séquence T5, appelées schistes dolomitiques de base, et le BOMZ qui est le sommet de cette séquence sont minéralisés en pyrite cobaltifère. Lors de l'émersion temporaire, le BOMZ est érodé en donnant des pyrites cobaltifères pré-existantes et des exoclastes portant en leur sein des pyrites

cobaltifères. Le tout est remanié lors de la déposition des sédiments surincombants. Cet horizon constitue alors la brèche intraformationnelle porteuse de ces pyrites zonées. L'interprétation faite par Okitaudji est que la carrolite (sulfure de cobalt) qui entoure la pyrite cobaltifère résulte d'un nourrissage sub-sur place des grains de pyrites cobaltifères préexistants provenant de la séquence T5 au cours de la diagenèse précoce des sédiments déposés à la base de la séquence T6. C'est ainsi que l'on explique la mise en place de ce corps minéralisé qui reste congruent à la séquence (corps sédimentaire) T6. Il n'est nullement question d'un remplacement quelconque de la pyrite, lié à la percolation postérieure des saumures.

Le modèle fluidogénétique de Bartholomé et ses variantes ne permettent pas d'expliquer la séquentialité des corps minéralisés en congruence avec les corps sédimentaires.

MODELE LIE AUX FLUIDES D'ORIGINE METAMORPHIQUE

Les travaux de Pirmolin (1970) sur les inclusions fluides dans la dolomite de Kamoto ont ouvert une brèche à Audeoud (1982) qui étaye le modèle de minéralisations liées aux fluides d'origine métamorphique. Cet auteur analyse des inclusions fluides des veines de carbonate et de quartz traversant les R.A.T que l'on rencontre à la base de la "Série des Mines". Il trouve les conditions d'homogénéisation des fluides de l'ordre de 200 °C, et après correction il les estime à 360 °C, 1250 bars. C'est sur la base de ces résultats qu'il propose un modèle de minéralisation de la "Série des Mines" basé sur les fluides d'origine métamorphique.

La lecture attentive de ces travaux montre que les conclusions de cet auteur ne tiennent pas compte de l'origine des métaux, du soufre, des conditions de transport et des processus de sulfuration. On note l'inexistence de discussion sur les conditions de formation des gisements exploitables. Il n'existe nulle part une discussion concernant la capacité métallogénique des fluides anchizonaux du Roan inférieur.

DISCUSSION GENERALES ET CONCLUSIONS

La solidité d'un modèle se reconnaît par la qualité des observations, la justesse des interprétations, les solutions que le modèle apporte aux questions posées et les arguments apportés à la discussion relative aux modèles existants.

LE MODELE DE CONCENTRATION SYN-DIAGENETIQUE

Ce modèle (Okitaudji, 1989) de mise en place des corps minéralisés primaires apporte des éléments de réponse concernant les processus de concentration -syn-diagénétique- des minéralisations. Celles-ci s'accompagnent d'un enrichissement polyphasé (fig. 4) au Shaba. C'est un modèle qui fait dérouler le film évolutif des faciès sédimentaires et des processus concentrateurs dans le temps et l'espace. Il examine au départ le site géotectonique, puis analyse la géométrie des corps minéralisés et des corps sédimentaires hôtes. Il effectue une analyse sédimentologique fine (analyse séquentielle de la série des mines) à toutes les échelles d'observation, en prenant en compte les figures sédimentaires, les microfailles syn-sédimentaires qui décalent des lits préalablement minéralisés, les

lits préalablement minéralisés slumpés, les remaniements des interclastes préalablement minéralisés, à la base des séquences. Une mise en place précoce des minéralisations ne posant plus de problème d'autant plus que le modèle permet d'expliquer la concordance entre les sédimentaires et les corps minéralisés que l'on observe en structure emboîtée de type gigogne au sein des séquences d'ordre varié.

L'environnement pétrographique montre qu'au sein d'une même séquence il existe un pôle silico-détritique où se concentrent les minéralisations et un pôle chimique (carbonaté, biolitique) dépourvu le plus souvent de minéralisations économiques. Les séquences géochimiques des corps étudiés et les séquences géochimiques des isotopes du soufre montrent que la sulfuration est liée à l'intense activité des bactéries (Okitaudji, 1989, 2001).

En somme ce modèle prouve que les gisements exploitables de cuivre et cobalt du Shaba résultent d'une superposition de trois métallotectes:

Le premier métallotecte dit «syn-diagénétique» est en rapport avec le piégeage précoce des métaux par le soufre biogène lié à l'activité bactérienne (Okitaudji, 1989, 2001). Ici, les ions métallifères présents dans l'eau et les sédiments situés sous le front d'oxydoréduction sont piégés par H_2S , HS^- , S^{2-} biogènes. Les minéralisations primaires ainsi formées subissent des remobilisations partielles lors de la lithification. Les remaniements syn-sédimentaires constituent aussi un facteur de concentration lors de cette première phase. Ce type de précipitation s'accorde avec les zonalités minéralogiques spatio-temporelles que l'on rencontre, tant sur la verticale de la colonne lithostratigraphique que sur l'espace latéral du bassin de sédimentation.

Le deuxième métallotecte dit «métamorphogène» se rapporte aux solutions interstitielles réchauffées et expulsées lors de la compaction des sédiments. Ces solutions remobilisent et redistribuent, de manière mineure, les métaux déposés au cours de la phase -syn-diagénétique- précoce. Ce type de concentration enrichit les premières minéralisations par cémmentation.

Le troisième métallotecte dit «concentrations supergènes» est lié au découpage de la série minéralisée lors de l'épisode tectonique pan-africain. Les chevauchements et les extrusions des écaillés (morceaux) de cette "Série des Mines" ont provoqué une fracturation des roches. Une circulation des eaux de nappes ou des eaux supergènes le long de ces fractures est à l'origine d'une karstification ayant provoqué le lessivage des minéralisations, par endroit, et la reconcentration de celles-ci par accumulation, à d'autres endroits favorables. De telles observations ont été décrites par Pellissonnier (1980).

En conclusion, ce modèle de concentration polyphasée (syn-diagénétique, métamorphogène et supergène) permet de retracer l'histoire des gisements de cuivre et cobalt, exploités ou actuellement exploitables dans l'Arc cuprifère du Shaba, en Afrique centrale. Les deux premiers métallotectes s'inscrivent dans une dynamique sédimentaire même et fournissent une architecture de concordance entre les corps

sédimentaires et les corps minéralisés, et une architecture de discordance entre les deux, pour certains cas du dernier métallotecte.

CONCLUSIONS PARTIELLES

Les quatre modèles repris ci-dessus ne permettent pas d'expliquer l'organisation séquentielle des corps minéralisés à la base des corps (séquences) sédimentaires observés à diverses échelles. Aucune géodynamique liée à une introduction postérieure des solutions minéralisatrices dans la série minéralisée ne permet d'expliquer ce rigoureux contrôle lithologique.

Le modèle de concentration syndiagénétique des minéralisations cupro-cobaltifères du Shaba exposé est en accord avec ce contrôle lithostratigraphique des minéralisations. Ce modèle, au Shaba, fournit pour la première fois un grand nombre de réponses aux questions d'ordre typologique, telles que la source des métaux, les facteurs de contrôle des minéralisations et les processus de concentration, la formation des gisements, etc. C'est un modèle qui est aujourd'hui adopté même par les fluidogénétistes de l'école de Bartholomé, ainsi qu'on le remarque dans l'article de Cailteux, (1994), après sa mise au point par Okitaudji (1989) et son adoption en Zambie par Sweeney *et al.* (1991).

PERSPECTIVES D'AVENIR

La typologie des gisements de cuivre et cobalt que l'on vient de présenter doit faciliter l'orientation sur la recherche des gisements métallifères de nature sulfureuse en milieu sédimentaire dans le monde en général, dans l'Arc cuprifère du Shaba et de la Zambie en particulier, ainsi que dans d'autres pays d'Afrique centrale tels qu'au Congo Brazzaville, en Angola, en Namibie, en Tanzanie et au Mozambique. Il est donc question de cerner :

- les environnements géotectoniques de type rift avorté,
- les environnements sédimentaires confinés de type mer épi-continentale frangeant le continent, où co-existaient une sédimentation terrigène, une sédimentation chimique de type évaporitique, sulfatée et biolitique (cyanobactérienne).

BIBLIOGRAPHIE

- ANNELS A.E., VAUGHAN D.J., CRAIG J.R., 1983 – Conditions of ore Mineral Formation in certain Zambian Copperbelt Deposits with Special Reference to the Role of Cobalt. *Mineral. Deposita*, **18**, 71-88.
- AUDEOUD D., 1982 – Les minéralisations uranifères et leur environnement à Kamoto, Kambove et Shinkolobwe (Shaba, Zaïre) : pétrographie, géochimie et inclusions fluides. Thèse, CREGU, Nancy.
- BARTHOLOMÉ P., 1974 – On the diagenetic formation of ores in sedimentary beds, with special references to Kamoto, Shaba, Zaïre. *In* Gisements stratiformes et provinces cuprifères, Liège, 203-213.
- BARTHOLOMÉ P., KATEKESHA F., 1971 – Cobalt zoning in microscopic pyrit from Resp. of the Zaïre. *Mineral. Deposita*, **6**, 167-176.

- BATEMAN A. M., 1930 – Ores of the North Rhodesian Copperbelt. *Econ. Geol.*, **25**, 365-418.
- BROWN, 1978 – Stratiform copper deposits evidence for their post-sedimentary origin. *Minerals Sci. Eng.*, **3**, 172-180.
- CAHEN L., 1974 – Geological Background of the copperbelt bearing strata of Southern Shaba (Zaire). Centenaire de la Soc. Géol. Belg. *In Gisements stratiformes et provinces cuprifères*. Liège, 57-77.
- CAHEN L., DELHAL J., DEUTSH S., 1967 – Rubidium-strontium geochronology of some granitic rocks from the Kibarian belt (Central Katanga, Rep. Of the Congo). *Ann. Mus. Roy. Afri. Centr.*, **8**, *Sci. Géol.*, **65**, 43-68.
- CAILTEUX J.J., 1983 – Le Roan Shabien dans la région de Kambove (Shaba-Zaire). Thèse, Liège.
- CAILTEUX J.J., 1994 – Lithostratigraphy of the Neoproterozoic Shaba-Type (Zaire) Roan Supergroup and metallogenesis of associated stratiform mineralization. *J. Earth Sc.*, **19**, 4, 279-301.
- CORNET, J. 1892 – Les richesses minières du Congo Belge. Encyclopédie du Congo belge. Ed. Bielleveld, p. 572.
- CRAIG J.R., VAUGHAN D.J., 1979 – Phase-relation in system Cu-Co-S with special reference to the Carrolite-Linnaeite series. *Econ. Geol.*, **74**, 657-671.
- DARNLEY A. G., 1960 – Petrology of some Rhodesian copperbelt orebodies and association rocks. *Trans. Inst. Min. Metall.*, **69**, 137-173; 371-398; 400-569.
- DAVIDSON D.M., 1931 – The geology and ore deposits of Chambishi, Northern Rhodesia. *Econ. Geol.*, **26**, 2, 131-152.
- DERRICKS J.J., OOSTERBOSCH R., 1958 – Les gîtes de Swambo et Kalongwe comparés à Shinkolobwe. 2^{ème} Conférence Internationale de l'O.N.U., Genève.
- DERRICKS J.J., VAES J.F., 1955 – Le gîte d'uranium de Shinkolobwe. 1^{ère} Conférence Internationale de l'O.N.U., Genève.
- DU TRIEU DE TERDONCK R., 1958 – Le contrôle tectonique de la minéralisation. *La Chronique des Mines d'Outre-Mer et de la Recherche Minière*, **263**, 143-144.
- FRANÇOIS A., 1963 – La tectonique des gisements cuprifères du Katanga. Cadre tectonique général. *In Gisements stratiformes de cuivre en Afrique*. Symposium (2^{ème} partie). Congrès Géologique International. Ass. Géol. Afri. (Lusaka), 52-76.
- FRANÇOIS A., 1973 – L'extrémité occidentale de l'Arc cuprifère Shabien. Etude géologique. Thèse. Département géologique de la Gécamines, Likasi.
- GARLICK W.G., FLEICHER V.D., 1976 – Geology of the Zambian Copperbelt. Handbook of Stratiform and stratiform ore deposits. *In* Wolf (ed). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- GRATON I.C., 1929 – Roan Antelope Geology. Unpublished Company report (R.A.C.M. Ltd).
- GRAY A., 1930 – The correlation of the ore-bearing sediments of the Katanga and Rhodesian Copperbelt. *Econ. Geol.*, **25**, 783-801.

- JACKSON G.C.A., 1932 – The ores of the Nchanga Mine and extensions. *Econ. Geol.*, **27**, 247-280.
- KATEKESHA M., 1975 – Gisement cupro-cobaltifère de Kamoto Principal (Shaba, Zaïre). Thèse, Liège.
- KRONER A., 1977 – Precambrian mobile belts of South Africa. Ancient structures of ensialic mobility. Crystal evolution towards plate tectonics. *Tectonophysics*, **40**, 101-135.
- LEFEBVRE J.J., PATTERSON L.E., 1982 – Hydrothermal assemblage of aluminium serpentine florencite and kyanite in the Copperbelt. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **105**, 51-71.
- NGONGO KASHISHA, 1975 – Sur la similitude entre les gisements les gisements uranifères (Type Shinkolobwe) et les gisements cuprifères (Type Kamoto) au Shaba (Zaïre). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **98**, 449-462.
- OKITAUDI L.R., 1989 – Géologie sédimentaire et concentration syndiagénétique du cuivre et du cobalt dans la Série des Mines du Shaba, (Shaba), Zaïre. Thèse de doctorat d'Etat, I.N.P.L. (E.N.S.G.), Nancy.
- OKITAUDI, L.R., 1992 – Interprétation sédimentologique du Roan (Précambrien supérieur) du Shaba (Zaïre) et place des minéralisations cupro-cobaltifères. *J. Earth Sc.*, **14**, 3, 371-386.
- OKITAUDI L.R., 1997 – L'évolution des modèles génétiques de cuivre-cobalt dans l'Arc cuprifère du Shaba et de la Zambie ; Discussion. Colloque international Cornet «Gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées». *Acad. Roy. Sc. Outre Mer*, 103-121.
- OKITAUDI L.R., 2001 – Les bactéries fossiles du Protérozoïque supérieur (1000-600 M.A.) et leur rôle dans la concentration du cuivre et cobalt des gisements de l'Arc cuprifère du Shaba (République Démocratique du Congo). *Bull. Acad. Lor. Sc.*, **39**, 23-32.
- PELISSONNIER H., 1980 – Sur l'ampleur de l'altération supergène dans la formation des gîtes minéraux en exploitation. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **102**, 2, 537-548.
- PIRMOLIN J., 1970 – Inclusion s fluides dans la dolomite du gisement stratiforme de Kamoto (Katanga occidental). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **93**, 397-406.
- SHUILING H., 1947 – La découverte des gîtes de cuivre du Katanga. Centenaire de L'A.I.L.G. , CONGRES SECT. COL. , 309-313.
- SWEENEY M.A., BINDA P.L., VAUGHAN D.J., 1991 – Genesis of the ores of Zambian Coprbelt. *Ore Geol. Rev.*, **6**, 51-76.
- THOREAU, R., DU THRIEU DE TERDONCK R., 1932 – Le gîte d'uranium de Shinkolobwe-Kasolo. *Mém. Inst. Roy. Col. Bel., Sci. Nat.*, **4**, II, 1.
- UNRUNG R., 1988 – Mineralization Controls and Source of Metals in the Lufilian Fold Belt, Shaba (Zaïre), Zambia and Angola. *Econ. Geol.*, **83**, 1247-1258.

**LITOCAMPA QUADRISSETIGERA N.SP.
(CAMPODEIDAE DIPLURA)
DE LA GROTTTE DE BIDALUNIA**

**LITOCAMPA QUADRISSETIGERA N.SP.
(CAMPODEIDAE DIPLURA)
FROM THE BIDALUNIA'S CAVE**

Camille BARETH

Génétique Signalisation Différenciation - EA 2401
Université Henri Poincaré - BP 239
F-54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex

Résumé : Dans ce travail, je décris une nouvelle espèce de troglobie récoltée dans une grotte du Massif des Arbailles (Pyrénées atlantiques). Cette espèce nouvelle est voisine de *Podocampa jeanneli* et plus encore de *Podocampa quadrisetigera* Condé et Cussenot, espèce non encore publiée.

Mots clés : *Troglobie, Litocampa*

Abstract : In this work a new troglobitic species from a cave of the Massif des Arbailles (Pyrénées atlantiques) is described. This species is closely related to *Podocampa jeanneli* and especially to *Podocampa quadrisetigera*, this last species has not been still published.

Key words : *Troglobitic, Litocampa*

Le 12.VIII.1998, au cours d'une visite dans la grotte de Bidalunia (massif des Arbailles) située à 430 m d'altitude sur la commune d'Alçay (Pyrénées atlantiques), J.-P. BESSON a récolté un spécimen de Campodé femelle qu'il a trouvé flottant sur une flaque à 80 m de l'entrée. Il a bien voulu me confier l'étude de ce spécimen.

Holotype : femelle de 6 mm montée dans le médium II de Marc André.

Longueur : 6 mm (sans les cerques qui font défaut).

Tégument : épicuticule sans ornementation. Soies de revêtement fines et glabres.

Tête : seule l'antenne droite est intacte et compte 40 articles, la gauche est un régénérat de 37 articles. Chaque organe cupuliforme contient 7 ou 8 sensilles pourvus d'une collerette simple. Le sensille bacilliforme de l'article III est postéro-sternal, inséré entre les phanères *d* et *e*. Les macrochètes de cet article sont glabres ceux des suivants également. En région moyenne les articles sont 2 fois aussi longs que larges.

Les 3 macrochètes du front sont assez fins, les 2 postérieurs subégaux (29, 28) avec une barbule chacun, l'antérieur, glabre est plus long (41). Les 3 macrochètes qui bordent la ligne d'insertion des antennes présentent 3-4 barbules, l'antérieur et le postérieur sont subégaux (29, 28) l'intermédiaire plus robuste est plus long (42). Les palpes labiaux sont de taille moyenne pourvus chacun de 170 phanères sensoriels. Les poils de garde sont postérieurs par rapport au sensille et les poils banaux sont tous situés sur la même ligne.

Thorax. Répartition des macrochètes

	<i>ma</i>	<i>la</i>	<i>lp</i>	<i>ma/la</i>	<i>lp/ma</i>	<i>lp/Σp/N</i>
Th 1	1 + 1	2 + 2	1 + 1(2)	1.25	1.46	2.52
Th 2	1 + 1	1 + 1	1 + 1	0.72	1.55	2.61
Th 3	1 + 1		1 + 1		1.80	2.92

Au pronotum, il existe bilatéralement un *la* supplémentaire situé à côté du *ma* : *la.s*. Il est un peu plus court 85/100 que le *la4* mais aussi barbelé que lui. On note également la présence unilatérale d'un *lp* supplémentaire (*lp.s*).

Ces macrochètes sont assez robustes, barbelés sur leur moitié ou leur tiers distal. Les soies marginales postérieures sont glabres ou avec quelques barbules pour les 2 plus latérales, elles sont un peu plus longues et plus robustes que les soies de revêtement.

Les pattes sont assez longues coxa 30, trochanter 24, fémur 93, tibia 106, tarse 87 = 340. Elles atteignent le IXe segment. Elles n'ont pas de sensille trochantérien. Le fémur des pattes métathoraciques porte un macrochète tergal inséré à mi-longueur de l'appendice. Le tibia porte un court macrochète bifurqué à l'apex. Calcars barbelés sur toute leur longueur, soies des tarses toutes glabres, griffes assez développées, coudées, à soies pré-tarsales glabres ; on note une légère ébauche de crête. Au niveau du quart proximal des griffes métathoraciques, on remarque une rangée de 5 ou 6 petites épines disposées côte à côte sur le bord externe de la griffe.

Abdomen. Répartition des macrochètes

	<i>ma</i>	<i>la</i>	<i>lp</i>
Ab I à III	1 + 1	-	-
Ab IV	1 + 1	-	0 + 1
Ab V à VII	1 + 1	-	2 + 2
Ab VIII	1 + 1	-	3 + 3
Ab IX	-	-	6 + 6 (tot)

Au 1^e tergite abdominal, les *ma* n'atteignent pas les embases des soies marginales postérieures 27/45, en IV ils les dépassent nettement et en VIII ils atteignent l'extrémité des soies marginales. En IV on note la présence unilatérale d'un *lp*. Ce macrochète est situé du même côté que le *lp* supplémentaire du pronotum et correspond au *lp* le plus interne des autres segments.

Sternite I avec 7 + 7 macrochètes, appendices subcylindriques terminés par une douzaine de phanères sensoriels *a1*. Les sternites suivants portent 4 + 4 macrochètes. Le VIII 1 + 1. Soies apicales des styles avec 2 petites barbules à la base et 1 apicale, subapicale glabre, moyenne sternale bifurquée.

Cerques. Absents

Affinités. Cette nouvelle espèce est assez proche de *Podocampa jeanneli*, elle en diffère toutefois par ses antennes plus longues (40 contre 35-37), par la présence d'un *la* supplémentaire au pronotum, le tibia ne porte qu'un seul macrochète court alors qu'il y en a 2 ou 3 chez *P. jeanneli*, enfin les griffes de notre spécimen sont plus robustes et plus coudées. Par rapport aux spécimens de *Podocampa quadrisetigera* décrits par Cussenot et Condé, mais non publiés, récoltés dans différentes grottes des Hautes Pyrénées et des Pyrénées atlantiques, et qui présentent le même *la* supplémentaire au pronotum, on note des antennes plus longues (40 au lieu de 31), l'absence de sensille trochantérien, l'absence unilatérale de *lp* en IV, des griffes un peu plus robustes, les métathoraciques présentant une rangée de petites épines près de la base.

Remerciements : Nous remercions le Professeur B. CONDE pour l'attention qu'il a bien voulu accorder à ce travail.

Référence bibliographique

CONDE B. 1947 – Description de deux Campodéidés de la grotte de Bas Nistos.
Bull. soc. Sc. Nancy, N.S., 6 : 18-24.

Bulletin de l'Académie Lorraine des Sciences 2001, 40, 4.

PROBLEMATIQUE DE L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION D'ACIDE AMINE PAR VOIE MICROBIENNE

IMPROVEMENT IN THE AMINO-ACID MICROBIAL PRODUCTION

Stéphane DELAUNAY¹, Pascale LAPUJADE², Damien LEYVAL¹,
Pierre GERMAIN¹, Jean-Louis GOERGEN², Jean-Marc ENGASSER¹

¹ Laboratoire Bioprocédés Agro-alimentaires, ENSAIA-INPL, 2 avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, 54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY

² Laboratoire des Sciences du Génie Chimique, CNRS, ENSAIA-INPL, 2 avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, 54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY

RESUME : La production d'acide aminé par voie microbienne peut être améliorée soit en jouant sur le procédé de culture soit en modifiant le métabolisme du micro-organisme producteur. Ces 2 approches seront illustrées et discutées grâce à deux exemples d'acides aminés produits par *Corynebacterium glutamicum* : l'acide glutamique et la valine.

Mots-clés : *Corynebacterium glutamicum*, glutamate, valine

ABSTRACT : Amino-acid microbial production can be improved by a process modification or by inducing changes in the metabolism of the biocatalyst. These two approaches will be illustrated and discussed using the examples of glutamic acid and valine productions with *Corynebacterium glutamicum*.

Keywords : *Corynebacterium glutamicum*, glutamate, valine

INTRODUCTION

Les acides aminés constituent un groupe de molécules utilisé essentiellement en alimentation tant humaine qu'animale. Ainsi peut-on citer l'acide glutamique qui, en tant qu'exhausteur de goût, est employé comme condiment dans les pays asiatiques ainsi que comme additif entrant dans la composition de nombreux aliments. L'aspartate et la phénylalanine, pour leur part, sont à la base d'un édulcorant : l'aspartame, alors que la lysine et la méthionine sont utilisées comme compléments dans les rations alimentaires de certains animaux.

Il existe plusieurs modes de production des acides aminés. Ces derniers peuvent être obtenus par synthèse chimique, par catalyse enzymatique, par extraction (à partir d'une matière première riche en l'acide aminé recherché) ou encore par culture microbienne. Cette dernière méthode de production s'avère être la plus économique lorsqu'elle peut être employée c'est à dire lorsqu'il existe une souche microbienne hyperproductrice de l'acide aminé désiré. Les bactéries appartenant au genre *Corynebacterium* (*Corynebacterium glutamicum*, *Brevibacterium flavum*, ...) ainsi que des souches génétiquement modifiées de l'espèce bactérienne *Escherichia coli* sont à ce titre les micro-organismes les plus souvent utilisés. Parmi les acides aminés produits par l'intermédiaire de micro-organismes, les plus importants, en terme de quantité synthétisée, sont l'acide glutamique, la lysine, la phénylalanine, la thréonine et le tryptophane. Actuellement, environ 1 million de tonnes d'acide glutamique est produit par an. La production d'acides aminés représente donc l'une des applications majeures de la microbiologie à l'échelle industrielle.

L'élaboration des premiers procédés de production d'acides aminés par voie microbienne date de la fin des années 1950. Depuis, de nombreuses améliorations ont été apportées à ces procédés, afin d'obtenir des concentrations finales élevées, des productivités ou des rendements maximaux ou encore des coûts minimaux. Pour arriver à améliorer la production d'un acide aminé par voie microbienne, deux approches peuvent être considérées : modifier soit le procédé, soit le biocatalyseur c'est à dire le micro-organisme utilisé.

L'amélioration du procédé consiste à optimiser la façon dont le micro-organisme peut être mis en œuvre. Cela revient à étudier des paramètres tels que le type de réacteur employé, la composition du milieu de culture, les paramètres physico-chimiques (pH, agitation, ...), le mode de culture (discontinu, semi-continu ou continu) ou encore le profil d'alimentation en substrat. Dans le cas particulier de la production d'acide glutamique, de nombreuses études ont porté sur l'induction de l'excrétion de l'acide aminé dans le milieu de culture. En effet, les souches hyperproductrices appartenant au genre *Corynebacterium*, n'excrètent pas naturellement l'acide glutamique, un stress doit leur être appliqué pour induire le processus d'excrétion. A l'échelle industrielle, les moyens les plus utilisés sont la limitation en biotine (caractéristique commune à l'ensemble des corynébactéries) et l'ajout d'un ou plusieurs tensioactifs. Selon les souches d'autres modes d'induction existent tels que la limitation en acide oléique,

l'ajout de pénicilline, l'augmentation de température... Ce processus se doit bien sûr d'être optimisé selon la souche utilisée.

La seconde voie d'amélioration de la production d'acide aminé par voie microbienne porte sur le biocatalyseur. Elle consiste à identifier avec précision la voie de biosynthèse de l'acide aminé et à modifier le métabolisme du micro-organisme en utilisant le plus souvent des moyens génétiques. Les modifications doivent permettre de favoriser et d'accroître, de façon la plus spécifique possible, la synthèse et l'excrétion de l'acide aminé dans le milieu de culture.

L'objectif du travail présent est d'illustrer les potentialités des deux voies d'amélioration sur deux acides aminés produits par *C. glutamicum* : l'acide glutamique et la valine, et ce, à partir de données bibliographiques et expérimentales. Pour les deux acides aminés, l'amélioration recherchée est simplement l'accroissement de la concentration finale en acide aminé.

MATERIEL ET METHODE

LES SOUCHES

Les souches utilisées au cours de ce travail sont les souches *C. glutamicum* 2262, hyperproductrice d'acide glutamique, qui nous a été fournie par la société ORSAN-AMYLUM et *C. glutamicum* 2262(pMF5), souche présentant une amplification de l'activité enzymatique phosphoénolpyruvate carboxylase (DELAUNAY *et al.*, 1998).

LES MODES DE CULTURE

Pour toutes les cultures qui ont été menées au cours de cette étude, le milieu utilisé est le milieu MCGC dans lequel le citrate a été remplacé par de la déféroxamine. La seule source de carbone présente dans ce milieu de culture est le glucose. Le mode de culture utilisé est un semi-continu de 24 h au cours duquel l'excrétion de l'acide glutamique est induite (DELAUNAY *et al.*, 1999).

Trois méthodes d'induction ont été testées :

- la limitation en biotine. La concentration initiale de cette vitamine est de 20 µg/l. Lors de sa croissance la bactérie consomme ce métabolite et lorsque la concentration en biotine atteint 3 µg/l, l'excrétion de l'acide glutamique débute (TAKINAMI *et al.*, 1966).
- l'ajout de tensioactif (Tween 40). Lorsque la concentration en biomasse atteint 5,6 g/l, 2,5 g/l de Tween 40 sont ajoutés dans le milieu de culture provoquant instantanément le début de l'excrétion de l'acide glutamique.
- l'élévation de la température du milieu de culture. La température du milieu de culture qui initialement est fixée à 33°C, est portée à 39°C lorsque la concentration en biomasse atteint 5,6 g/l. Cela se traduit par une excrétion immédiate d'acide glutamique.

METHODES D'ANALYSE

La concentration en biomasse est obtenue par mesure de la densité optique à 570 nm et par la méthode des poids secs. La concentration extracellulaire en glutamate est déterminée par kit enzymatique (Boehringer Mannheim, Allemagne).

RESULTATS

AMELIORATION DU PROCEDE : EXEMPLE DE L'ACIDE GLUTAMIQUE

la souche *C. glutamicum* 2262 est capable de produire de l'acide glutamique suite à l'application d'au moins trois types de stress : la limitation en biotine, l'ajout de tensioactif dans le milieu de culture ou encore l'élévation de la température du milieu de culture. Afin d'identifier le mode d'induction le plus approprié pour obtenir la concentration finale en acide glutamique la plus élevée possible, ces trois modes d'induction ont été appliqués à cette souche hyperproductrice (fig. 1).

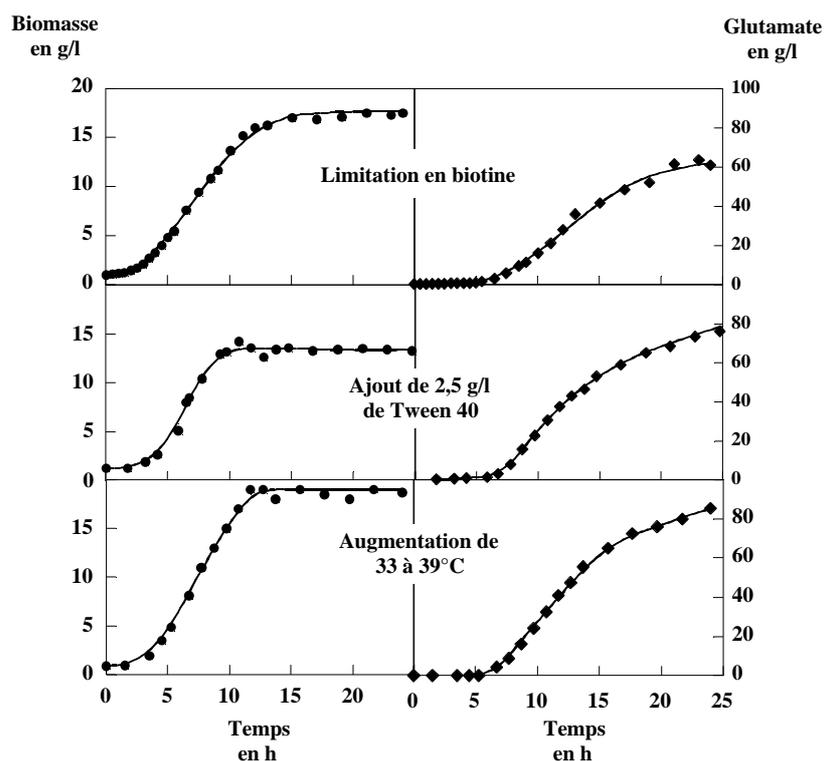


Figure 1 : Evolution des concentrations en biomasse et en glutamate obtenues avec *C. glutamicum* 2262 lors de cultures semi-continues utilisant 3 modes

d'induction de l'excrétion de l'acide glutamique : la limitation en biotine, l'ajout de tensioactif (Tween 40) et l'augmentation de température.

Les concentrations finales en biomasse obtenues sont de 17, 13 et 19 g/l pour, respectivement, la limitation en biotine, l'ajout de Tween 40 et l'augmentation de température. En ce qui concerne la production d'acide glutamique, le procédé le plus performant en terme de concentration finale d'acide aminé s'avère être celui lors duquel l'excrétion est induite par l'élévation de la température du milieu de culture avec 85 g/l. 62 et 78 g/l sont obtenus suite à, respectivement, une limitation en biotine et un ajout de Tween 40.

AMELIORATION DU BIOCATALYSEUR

Exemple de l'acide glutamique

La voie de biosynthèse de l'acide glutamique chez *C. glutamicum* est maintenant bien identifiée. Plusieurs études se sont attachées ces dernières années à l'identification au sein de celle-ci des étapes enzymatiques potentiellement limitantes pour la production d'acide glutamique. Il est notamment apparu que la phosphoénolpyruvate carboxylase (PEPc), enzyme appartenant au groupe des enzymes anapérotyques (enzymes permettant l'approvisionnement du cycle de Krebs en molécules à 4 atomes de carbone) pouvait constituer une étape limitante (KUEHM, 1996). Afin de vérifier cette hypothèse, une souche présentant une activité PEPc accrue a été construite à l'aide d'outils génétiques. La figure suivante présente une comparaison de la production d'acide glutamique, lors du procédé avec élévation de la température du milieu de culture, avec la souche non modifiée, *C. glutamicum* 2262 ainsi qu'en utilisant la souche génétiquement modifiée, *C. glutamicum* 2262(pMF5).

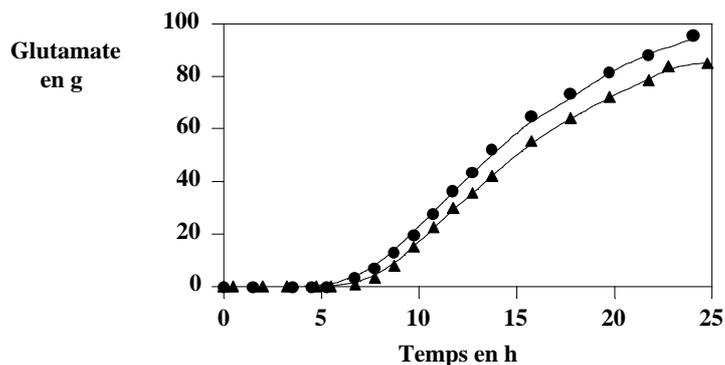


Figure 2 : Evolution de la concentration en glutamate lors de cultures semi-continues avec élévation de la température du milieu de culture de 33 à 39°C avec les souches *C. glutamicum* 2262 (●) et *C. glutamicum* 2262(pMF5) (▲)

d'Erlenmeyer, sans aucune optimisation). Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant.

Modifications apportées	Valine produite (g/l)
aucune	0,1
amplification IlvBN	5,3
amplification IlvBN et IlvD	5,8
amplification IlvBN et IlvD + élimination de IlvA	9,4

Tableau 1 : concentrations finales en valine obtenues après modification génétique de la souche *C. glutamicum* ATCC 13032 (d'après SAHM et EGGELING, 1999)

DISCUSSION

AMELIORATION DU PROCEDE

L'action précise des différents modes d'induction de l'excrétion de l'acide glutamique est encore mal connue. Néanmoins, sur une même souche, la concentration de glutamate obtenue peut varier fortement selon celui qui est employé. En ce qui concerne *C. glutamicum* 2262, une augmentation de 35% de la concentration finale en acide glutamique (de 62 à 85 g/l) peut être obtenue en modifiant simplement la nature du stress appliqué pour obtenir l'excrétion et ce, sans modifier le métabolisme du biocatalyseur.

Des variations sont également mesurées au niveau de la concentration finale en biomasse (fig. 1). Il a précédemment été supposé qu'il était nécessaire de ralentir la croissance afin de favoriser la production de glutamate (DUBREUIL, 1985). Néanmoins, lors des essais menés avec *C. glutamicum* 2262, il est à noter que la plus forte concentration en acide glutamique (85 g/l) est obtenue simultanément à la concentration en biomasse la plus élevée (19 g/l).

AMELIORATION DU BIOCATALYSEUR

Cette voie est aujourd'hui celle qui tend à être prédominante lors de la mise en place de stratégies d'amélioration de productions utilisant des micro-organismes. De nombreux exemples d'accroissements spectaculaires peuvent être relevés dans la littérature. L'amélioration de la production de la valine par *C. glutamicum* ATCC 13032 fait partie de ces derniers. En effet, des modifications génétiques ont permis de multiplier par un facteur 94 la concentration de valine produite chez une souche sauvage (non modifiée génétiquement). A l'inverse, aucune amélioration n'a été observée suite à la modification du métabolisme de la souche *C. glutamicum* 2262, productrice d'acide glutamique. Cette disparité entre les résultats peut trouver son explication dans la différence qui existe au niveau des capacités de production des souches sauvages. Dans le cas de la valine, la souche non modifiée génétiquement n'excrète quasiment pas d'acide aminé (0,1 g/l), par contre dans le cas de l'acide glutamique, la souche sauvage est capable d'en produire 85 g/l. Il semble donc qu'il soit beaucoup plus difficile d'améliorer un biocatalyseur

lorsque celui-ci permet préalablement une forte production. Certaines données de la littérature vont également dans ce sens. Ainsi, chez *C. glutamicum* ATCC 13032, la production d'acide glutamique a pu être multipliée par 7 suite à l'amplification de l'activité pyruvate carboxylase (PETERS-WENDISCH *et al.*, 2001). Mais dans ce cas précis, la souche sauvage ne produisait que 1 g/l d'acide glutamique ce qui est très loin des performances d'une souche hyperproductrice.

Chez une souche hyperproductrice, le métabolisme est déjà « naturellement » orienté vers la synthèse d'un métabolite. Les différentes étapes enzymatiques impliquées dans la voie de biosynthèse de ce dernier se trouvent, pour la plupart, proches de leur activité optimale. Pour espérer une amélioration de la production, il faut donc identifier les quelques étapes limitantes. Aujourd'hui, l'identification de ces dernières reste délicate malgré l'aide apportée par les modèles mathématiques mimant le métabolisme de certaines souches d'intérêt industriel.

CONCLUSIONS

Des améliorations peuvent être apportées à une production d'acide aminé par voie microbienne en modifiant soit le procédé soit le métabolisme de la souche productrice. Cette dernière voie apporte des résultats souvent spectaculaires surtout lorsque la souche utilisée n'est pas un micro-organisme hyperproducteur. Cependant, il ne faut pas chercher à opposer les deux voies d'amélioration précitées et à rechercher la « meilleure ». Ces deux approches sont complémentaires. Le plus souvent, le procédé mettant en œuvre une souche modifiée génétiquement doit être revu afin d'exploiter au maximum les capacités de la nouvelle souche. C'est pour cette raison que les nouveaux projets d'amélioration de production de métabolites tels que « VALPAN project » sont pluridisciplinaires et utilisent des compétences provenant, entre autres, du génie génétique, du génie biochimique et de la bioinformatique.

BIBLIOGRAPHIE

- DELAUNAY S., BAUCHER M.-F., ENGASSER J.-M., GUYONVARCH A. , GOERGEN J.-L., 1998 – Une application du génie métabolique : étude et modification de la micro-usine *Corynebacterium glutamicum*. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, **12**, 62, 75-80.
- DELAUNAY S., GOURDON P., LAPUJADE P., MAILLY E., ORIOL E., ENGASSER J.-M., LINDLEY N. D., GOERGEN J.-L., 1999 – An improved temperature triggered process for glutamate production with *Corynebacterium glutamicum*. *Enz. Microb. Technol.*, **25**, 762-768.
- DUBREUIL P, 1985 – Cinétiques et modélisation de la fermentation glutamique. Thèse INPL-Nancy.
- KUEHM N., 1996 – Modélisation cinétique et métabolique de *Corynebacterium glutamicum* : croissance et production de glutamate sous stress osmotique. Thèse INPL-Nancy.

- PETERS-WENDISCH P.G., SCHIEL B., WENDISCH V. F., KATSOULIDIS E., MOCKEL B., SAHM H., EIKMANNS B. J., 2001 – Pyruvate carboxylase is a major bottleneck for glutamate and lysine production by *Corynebacterium glutamicum*. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.*, **3**, 295-300.
- SAHM H., EGGELING L, 1999 – D-Pantothenate synthesis in *Corynebacterium glutamicum* and use of panBC and genes encoding L-valine synthesis for D-pantothenate overproduction. *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**, 1973-1979.
- TAKINAMI K., YAMADA Y., OKADA H., 1966 – Biochemical effects of fatty acids and its derivatives on L-glutamic acid fermentation. *Agric. Biol. Chem.*, **30**, 674-682.

**NOUVELLE OBSERVATION EN FRANCE DE
STIGMELLA TORMENTILLELLA, HERRICH -
SCHAFFER 1855. (*Lep. Nepticulidae*)***

**NEW DATA ON *STIGMELLA TORMENTILLELLA*,
HERRICH- SCHAFFER 1855, IN FRANCE. (*Lep.*
Nepticulidae)**

par Jean-Marie COURTOIS *

* 6, Chemin des Lavandières. F-57050 Lorry-lès-Metz

Résumé:

L'auteur signale une nouvelle observation de *Stigmella tormentillella* H. - S., 1855, espèce peu connue de France. Il apporte également quelques informations concernant son écologie.

Mots-clés: Lepidoptera - Nepticulidae - *Stigmella tormentillella* H.-S.- Ecologie - France

Abstract:

The author reports a new data on the little known species *Stigmella tormentillella* H. - S., 1855, in France . Some ecological informations are also given.

Key-words: - Lepidoptera - Nepticulidae - *Stigmella tormentillella* H.-S.- Ecology - France.-

* Note déposée à la séance du 13 décembre 2001.

Parmi les auteurs européens, SPULER (1910), cite le microlépidoptère de Bavière et du nord de l'Allemagne, HERING (1957), du centre et du sud-est de l'Europe. Plus récemment, HEATH (1976), KLIMESCH (1981), JOHANSSON *et al.* (1990) et LASTUVKA (1997) le signalent dans une aire de répartition qui révèle une distribution disséminée: Allemagne, Autriche, Bohême, France, Italie du nord, Moravie, Roumanie, Slovaquie, Suisse.

D'après LHOMME (1949), il n'est que très peu observé chez nous, dans le seul département des Landes, en mai .

Bien qu'il faille souligner son caractère très discret, l'insecte a été observé dans trois départements lorrains: Meuse, Meurthe-et-Moselle et Moselle.

Il est inféodé à *Tormentillella tabernaemontani* (= verna L.) et à *Tormentillella erecta* (= *tormentilla* Neck). Il dépose ses œufs isolément sur la face inférieure des feuilles. La chenille néonate, jaune verdâtre, vit bientôt en endophyte dans une longue et étroite galerie difficile à découvrir, sur la face supérieure des folioles. Cette galerie s'élargit ensuite progressivement et forme presque une place, en phase finale. Le stade de mineur étant achevé, un cocon brun jaunâtre est formé dans la litière, à la surface du sol.

Pour LHOMME, l' espèce est univoltine (adultes en mai, mines en septembre - octobre), pour d'autres auteurs, elle est soit univoltine, soit bivoltine (mines en mai - juin et septembre - octobre).

En Lorraine, l' espèce est nettement bivoltine (du moins entre 1999 et 2001) avec des mines observées en juin et octobre. Celles récoltées en octobre ont permis l' émergence d'adultes en captivité, à la fin de février 2001.

Les sites concernés présentent des conditions thermoxérophiles variables. Sur les Côtes de Meuse, entre Verdun et Saint-Mihiel, *Tormentillella erecta* poussait au bord d'un chemin pierreux bordant une pelouse avec un groupement végétal appartenant au *Seslerio - Brometum*.

Dans la vallée du Rupt - de - Mad, un site se trouve dans une pelouse d'ourlet bien développée, avec des espèces végétales caractéristiques du Geranion sanguinei Tx ex Müller 61. Dans le même département, un second site est une pelouse xérique avec des affleurements rocheux et une végétation à annuelles et orpins. C'est dans ces formations beaucoup plus sèches que j'ai trouvé le plus de mines.

Enfin, près de Metz, sur les Côtes de Moselle, où les recherches ont été plus approfondies, l'insecte fut trouvé dans des lisières thermophiles avec des groupements végétaux appartenant au *Geranion sanguinei* et au *Trifolion medii*, plus mésophile. Des espèces de Nepticulides ont déjà été observées dans la strate herbacée, à cet endroit (COURTOIS: 2001).

Ajoutons, pour être complet, que des sites voisins ou éloignés, abritant des biotopes très semblables aux précédents et qui semblaient favorables, ont été prospectés en vain et que l'étude du massif vosgien n'a pas encore, à ce jour, été entreprise (pour l' espèce concernée). Un hyménoptère parasite du genre *Trichogramma* a également été obtenu d'un cocon. Enfin, d'autres mines ont été observées sur les feuilles de *Tormentillella erecta*.

Références bibliographiques

COURTOIS J.-M. , 2001. - Observations récentes de Nepticulides dans la strate herbacée, au Mont Saint-Quentin.. *Bufo* n°27: 14.

HEATH J. , 1976 - The moths and butterflies of Great Britain and Ireland. John Heath Ed. Volume 1, 222-223.

HERING E., 1957 - Bestimmungstabellen der Blattminen von Europa; Band I-II. Ed. W. Junk, 's Gravenhage. p. 315, 822, 938.

JOHANSSON R., NIELSEN E.S., NIEUKERKEN E.J., van & GUSTAFSSON B., 1990. The Nepticulidae and Opostegidae (Lepidoptera) of North west Europe. *Fauna ent. Scand.*, 23:1-739.

KLIMESCH J., 1981. - Beiträge zur Kenntnis des Nepticulidae. Lep. Monotrysis . 1. Die futterpflanzen der Nahrungsrassen der *Stigmella aurella* (F.) in Oberösterreich. 2. *Stigmella tormentillella* (H.S.) und verwandte Arten in den Ostalpen. *Z. ArbGem. Öst. Ent.*, 32:113-128.

LASTUVKA A. & L. , 1997. - Nepticulidae Mitteleuropas. Verlag: Konvoj, spol. Sr.o. : 1-230.

LERAUT P., 1997. Liste systématique et synonymique des Lépidoptères de France, Belgique et Corse (deuxième édition). Supplément à *Alexanor et au Bulletin de la Société entomologique de France*: 1 - 526.

LHOMME L. , 1935 - 1949. - Catalogue des Lépidoptères de France et de Belgique. Vol. II (2ème partie). L. LHOMME édit. Le Carriol, Douelle (Lot): 690 -696 .

SPULER A. , 1910 - Die Schmetterlinge Europas. Ed. Schweizerbart. Stuttgart, 475-478.