

SCIENCES

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES | FONDÉE EN 1872

N° 2006-2/3 | 2^e-3^e TRIMESTRES 2006
ISSN : 0151 - 0304 | PRIX : 20 €

AFAS | SCIENCES
Siège social : SDM, 75 rue de Lourmel,
F-75015 Paris
Secrétariat : CNRS, 1 place Aristide Briand,
F-92195 Meudon Cedex
Tél. : 01 45 07 59 40
Fax : 01 45 07 59 44
mél : secretariat@avancement-sciences.org
web : www.avancement-sciences.org

Directeur de la publication :
Jeanne Brugère-Picoux, président de l'AFAS

Rédacteur en chef :
Paul Faugeras

Assistante de rédaction :
Marie-Laure Blanchet

Comité de rédaction :
Roger Diévert, Paul Faugeras,
Arlette Franceschetti, Roland Néjar

Comité de lecture :
Jeanne Brugère-Picoux, président de l'AFAS,
Jean Boulaïne, Paul Caro, Yves Lancelot,
Christian Marchal, présidents des groupes
de disciplines de l'AFAS

Maquette, composition :
Marie-Laure Blanchet

Impression :
Reprotechnique

Editions AFAS

Abonnements :
Abonnement simple : 32 €
Abonnement de soutien : 40 €
Membres de l'AFAS : 23 €

Vente au numéro :
S'adresser à l'AFAS.

Les articles peuvent être reproduits à condition d'être accompagnés du nom de l'auteur avec la mention «Reproduit de la revue SCIENCES, AFAS, CNRS, 1 place Aristide Briand, 92195 Meudon Cedex» en précisant le numéro et sa date de parution. Un justificatif doit être adressé à la rédaction de SCIENCES.

Les auteurs des articles publiés adhèrent implicitement à ce statut.

Les articles paraissant dans SCIENCES expriment l'opinion de leurs auteurs et non pas nécessairement celles de la rédaction.

SOMMAIRE

3 Avant-propos par Paul Faugeras

MEDITERRANEE : LE PARTAGE DU SAVOIR

(Casablanca, 5-7 septembre 2005)

SESSION D'OUVERTURE

- 4 **Allocution d'ouverture** (R. Klapisch)
6 **Les actions de la France et le partenariat franco-marocain** (P. Appriou)
8 **Allocution de bienvenue** (M. Berkaoui)
10 **Allocution de bienvenue** (P. Colombani)

SESSION 1 :

EXTENSION DE L'ESPACE EUROPEEN DE RECHERCHE A LA ZONE EURO-MEDITERRANEE

- 12 **Introduction** (J.P. Connerade)
13 **L'ICTP, un modèle d'excellence en matière de formations doctorale et post-doctorale pour le Sud** (K.R. Sreenivasan)
18 **Formation et évolution professionnelle des chercheurs** (G. Bingen)
19 **Evaluation. Des critères pour l'excellence** (J.-P. Bourguignon)
24 **Les études et les carrières scientifiques au féminin en Tunisie** (O.K. Ben Hassine)
26 **Les femmes dans les sciences et leur rôle dans le progrès des sociétés du Sud** (N. Berrah)

SESSION 2 :

ENERGIES POUR LE DEVELOPPEMENT

- 29 **Nouvelles énergies pour le futur** (C. Rubbia)
38 **La recherche sur l'énergie au CIEMAT et le projet de plate-forme solaire d'Almeria** (J.A. Rubio)
41 **Quel avenir pour l'énergie éolienne au Maroc ?** (D. Zejli, R. Benchrifa, A. Bennouna)
44 **EUROGIA : le cluster Energie pour des solutions écologiques permettant de satisfaire une demande énergétique sans cesse croissante** (G. Marquette)
47 **Scénarios énergétiques durables en Méditerranée : situation actuelle et perspectives** (D. Gentile, S. Allal)

SESSION 3 :

PARTICIPATION DES CHERCHEURS DU SUD AUX PROJETS INTERNATIONAUX : SESAME

- 51 **SESAME - Rayonnement synchrotron pour les sciences expérimentales et appliquées au Moyen-Orient** (H. Schopper)
53 **Le programme scientifique de SESAME, un exemple de transfert de connaissances** (S. Hasnain)

57 **Le synchrotron et le laser : amis ou ennemis ?** (J.P. Connerade)

SESSION 5 :

DE LA SECURITE ALIMENTAIRE A LA SECURITE DES ALIMENTS : UN ESPACE EURO-MEDITERRANEEN A CONSTRUIRE

65 **Perspectives démographiques, évolution de la situation agricole et alimentaire en Méditerranée. Quelles questions pour la recherche ?** (V. Dollé)

72 **La Méditerranée comme zone de libre-échange (ZLE) à partir de 2010 : quelles conséquences pour l'agriculture, pour l'alimentation, pour la recherche agronomique ?** (N. Akesbi)

78 **L'agriculture, la prochaine frontière d'Euromed ?** (M. Cheikh-Rouhou)

82 **Table ronde**

SESSION 6 :

COMBATTRE LA FRACTURE NUMERIQUE

90 **Les e-sciences et la grille** (K. Peach)

SESSION 7 :

PARTICIPATION DES PAYS DU SUD AUX PROGRAMMES INTERNATIONAUX : LE CERN

98 **La participation des pays du Sud aux programmes internationaux : le CERN n'est pas un «tunnel d'ivoire»** (J. Ellis)

102 **Participation marocaine à l'expérience ATLAS** (D. Benchekroun)

106 **Développement de la collaboration avec le CERN** (M. Sherif)

107 **Plaidoyer pour la physique expérimentale des particules en Algérie** (F. Djama)

SESSION 8 :

DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET RECYCLAGE DES EAUX USEES

110 **Synergies entre production d'électricité et dessalement : avantages économiques et sociaux** (C. Sommariva)

113 **Dessalement et la réutilisation des eaux usées : des ressources à prendre en considération** (A. Elmidaoui)

115 **Gestion et surveillance distribuée de ressources d'eau** (E. Tzafestas, G. Rigatos, C. Garagunis)

SESSION 9 :

LES RISQUES NATURELS EN MEDITERRANEE

117 **Le risque sismique dans les régions méditerranéennes** (P. Tapponnier)

124 **Le risque volcanique autour de la Méditerranée** (F. Barberi)

130 **L'instrumentation sismique** (J. Virieux)

136 **Agences locales et systèmes d'alerte en Campanie** (P. Gasparini)

138 **Exemple de coopération franco-marocaine : étude du séisme et du tsunami de 1755** (M.-A. Gutscher)

139 **Conclusions** (R. Klapisch)

142 **Recommandations**

AVANT-PROPOS

Ce double numéro de Sciences donne les comptes rendus de la troisième conférence de la série «Méditerranée : le partage du savoir», organisée conjointement par l'AFAS, l'IN2P3 et les universités marocaines Hassan II-Aïn Chock et Ibn Tofaïl, et qui s'est tenue à Casablanca les 5, 6 et 7 septembre 2005. Cette conférence a reçu le soutien d'une douzaine de sponsors, parmi lesquels nous citerons l'OTAN, qui a décidé de lui donner la qualification d'Advanced Research Workshop.

En plus de la session d'ouverture, neuf sessions différentes ont été organisées, sur les sujets suivants :

- Session 1 : Extension de l'Espace européen de la recherche à la zone Euro-Méditerranée ;
- Session 2 : Energies pour le développement ;
- Session 3 : Participation des chercheurs du Sud aux projets internationaux : SESAME ;
- Session 5 : De la sécurité alimentaire à la sécurité des aliments : un espace euro-méditerranéen à construire ;
- Session 6 : Combattre la fracture numérique ;
- Session 7 : Participation des pays du Sud aux programmes internationaux : le CERN ;
- Session 8 : Dessalement de l'eau de mer et recyclage des eaux usées ;
- Session 9 : Les risques naturels en Méditerranée.

La session 4 a traité de sujets possibles dans le futur, mais nous n'en rendrons pas compte, car elle s'est principalement déroulée sous la forme d'une discussion ouverte.

Nous avons demandé aux auteurs de donner leur contribution sous forme écrite. Certains ont volontiers accepté de le faire et nous les en remercions infiniment. Les contributions écrites en français sont publiées telles quelles. Les contributions en anglais ont été traduites en français, principalement par Marie-Laure Blanchet, notre assistante d'édition, que nous tenons à remercier ici pour la qualité de ce travail.

La conférence a été entièrement enregistrée en vidéo numérique. Pour des raisons financières et des questions de temps, il n'a pas été possible de transcrire, à partir de la vidéo, toutes les interventions pour lesquelles nous

n'avions pas de contribution écrite. De façon un peu arbitraire, nous nous sommes limités à la transcription des exposés des orateurs invités et des exposés portant sur des sujets non abordés dans les conférences précédentes. Chaque transcription a été faite dans la langue de l'orateur et a été ensuite filtrée pour éliminer les redites du langage oral. Si nécessaire, cela a été suivi de la traduction en français. Un renvoi après le titre de chaque article donne en bas de page la nature du texte publié : original en français, original en anglais, traduit en français, transcription d'un exposé en français, transcription d'un exposé en anglais, suivie d'une traduction en français.

Nous devons nous excuser auprès de ceux dont l'exposé n'a pu être transcrit et publié ici. Cependant, nous avons mentionné ces contributions à la fin de chaque session, avec le nom de l'auteur, son affiliation et le titre de sa contribution. Si des lecteurs voulaient plus de détail sur ces contributions, ils peuvent demander à l'éditeur de leur envoyer le CD-ROM qui contient tous les transparents présentés à la conférence.

Les actes de cette conférence ont également été publiés en anglais, à la demande de l'OTAN. Les personnes intéressées peuvent se procurer cet ouvrage auprès de l'éditeur des ouvrages de l'OTAN, à savoir IOS Press, sur le site www.iospress.nl (Référence de cette publication : ISBN 1-58603-680-7). L'édition française dans ce numéro de Sciences a bénéficié du soutien financier de certains de nos sponsors, à qui nous adressons nos plus vifs remerciements.

Il me faut enfin adresser mes plus chaleureux remerciements à Marie-Laure Blanchet, notre assistante d'édition, qui, en plus des traductions en français, a réalisé la mise en page des deux publications, ainsi que la relecture de la version française, aidée en cela par Arlette Franceschetti, notre secrétaire général, qui a aussi assuré une partie de la logistique de la conférence et qui doit donc être associée à ces remerciements.

Paul Faugeras
Rédacteur en chef de Sciences

Session d'ouverture¹

Allocution d'ouverture

Robert Klapisch

Je vous remercie d'assister à la troisième édition de notre conférence «Partage du savoir autour de la Méditerranée». Je vais parler en français mais présenter les transparents en anglais. Je vous signale que nous avons également des interprètes et des traductions simultanées et vous pourrez choisir la langue de votre choix pour cette conférence.

Je voudrais vous présenter d'abord les regrets temporaires de Pascal Colombani, président de l'AFAS, qui a été retardé - son avion a eu un petit délai - et qui vous parlera dès qu'il arrivera au cours de la session.

Je dois également vous dire que le ministre français François Goulard, qui nous a accordé son patronage et un soutien financier tout à fait considérable, ne peut pas venir aujourd'hui, parce qu'il a, comme souvent les ministres, des obligations qui étaient imprévues au moment où nous en avons convenu.

Tout d'abord, je voudrais adresser mes salutations les plus chaleureuses à ceux d'entre vous qui ont déjà assisté à la conférence à Marseille et à celle du CERN. Pour ceux qui étaient au CERN l'an dernier, vous vous souvenez qu'un certain nombre de souhaits avaient été exprimés au cours de la réunion. Nous en avons tenu largement compte et, dès la fin de la conférence de Genève, l'AFAS et l'IN2P3, l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS français, ont élaboré un programme préliminaire et ont commencé à demander des sources de financements divers et variés.

Dès décembre 2004 nous avons une offre de nos collègues marocains pour abriter cette conférence, et c'est pour cela que nous sommes ici. En février, nous avons demandé au ministre de la Recherche de l'époque, M. François d'Aubert, son patronage et son soutien financier, ce qui a été accordé dès le mois d'avril. Et je dois dire que cette réunion n'aurait pas été possible sans un soutien de la communauté marocaine et du président Berkaoui, qui va venir dans un instant. On vous donnera davantage de détails, mais je ne voudrais pas manquer cette occasion de dire tout le plaisir que j'ai eu à travailler de façon intense durant ces dernières semaines avec Abdellam Hoummada, que vous avez tous vu ici présent et très affairé.

Je voudrais maintenant, dans la suite de mon exposé, rendre hommage aux contributeurs français et internationaux, à commencer par l'AFAS et l'IN2P3, mais j'ai un

total de onze différents contributeurs.

L'AFAS est l'Association française pour l'avancement des sciences, qui a été fondée en 1872 par Claude Bernard, et qui est représentée ici par Pascal Colombani, son président, qui va arriver dans un instant, par Arlette Franceschetti, secrétaire général, qui nous a beaucoup aidés, pour certains pour des billets d'avion, par Paul Faugeras, éditeur du journal *Sciences*, qui a fait paraître les comptes rendus de la rencontre de Genève, et enfin par moi-même comme président d'honneur et prédécesseur de Pascal Colombani.

L'IN2P3 est l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS. Il est représenté ici par Eliane Perret, responsable des relations internationales, et par Guy Wormser, directeur du Laboratoire de l'accélérateur linéaire d'Orsay depuis la semaine dernière, que je salue, et qui va organiser la session sur la lutte contre la fracture numérique qui aura lieu demain. Par ailleurs, Michel Spiro, le directeur de l'IN2P3, a donné à ce projet tout son soutien jusqu'à nous accorder le concours de ses deux secrétaires de direction, qui, vous vous souvenez, au mois de juillet ont pris vos inscriptions. Il doit également présenter ses excuses pour son absence, car c'est la saison où les instituts préparent leur budget et cela l'a contraint à renoncer à venir.

Je voudrais maintenant vous présenter la liste des organisations et instituts qui ont été d'accord pour soutenir notre projet et qui sont représentés ici. La liste est longue et je voudrais les remercier collectivement pour leur soutien. Je voudrais ajouter que, par rapport à l'an dernier, le nombre grandissant d'institutions qui nous ont soutenus doit être pris comme le signe que notre initiative est très bien accueillie, et je pense que c'est très encourageant pour le futur. Je vais donc seulement dire un mot de chaque institution, dans l'ordre, si j'ose dire, d'entrée en scène : vous pouvez d'ailleurs voir tous les logos des différents instituts sur la banderole qui orne l'estrade.

Je commence par l'Ambassade de France au Maroc qui est représentée par M. Pierre Appriou, conseiller scientifique, qui va nous parler dans quelques instants des programmes bilatéraux existant entre la France et le Maroc.

¹ Transcription des allocutions en français.

Je voudrais le remercier tout particulièrement, parce que son soutien a permis à un grand nombre de personnalités ici présentes de pouvoir faire le voyage à Casablanca.

Passons ensuite à l'Institut de Trieste, l'ICTP - Institut de physique théorique fondé par Abdus Salam et qui est une référence pour les études doctorales et post-doctorales pour les pays du tiers-monde. Il est représenté ici par son directeur, le P^r Katepalli R. Sreenivasan, que je remercie vivement d'avoir pu venir malgré, bien évidemment, un emploi du temps chargé. Il donnera cet après-midi, dès le début de la session, une description de cette institution tout à fait extraordinaire.

Le CIEMAT est l'Agence espagnole pour la recherche sur l'énergie, l'environnement et les nouvelles technologies. Elle est aussi représentée ici par son directeur général, Juan Antonio Rubio, qui a organisé la session sur l'énergie et qui va la présenter cet après-midi lors de la deuxième session.

L'INSTN est l'Institut national des sciences et techniques nucléaires, qui est la branche universitaire du Commissariat à l'énergie atomique français. Elle est représentée par le P^r Dominique Gentile, qui nous présentera son exposé cet après-midi. Il y aura un léger changement dans le titre mais tout ceci sera précisé au début de la session par le P^r Rubio.

Le CIHEAM est le Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes. C'est une association intergouvernementale qui groupe douze pays, dont d'ailleurs le Maroc, et il est représenté aujourd'hui par M. Vincent Dollé qui est le directeur du centre de Montpellier. M. Bertrand Hervieu, que certains d'entre vous avaient entendu à Marseille quand il était président de l'Institut de la recherche agronomique, est maintenant secrétaire général du CIHEAM, et je dois dire qu'il a tout de suite bien accueilli notre initiative. Il nous a donné un large soutien financier, mais, malheureusement, il a également un devoir institutionnel, car aujourd'hui même s'ouvre à Bari, un des quatre centres du CIHEAM, une conférence à laquelle il se doit d'assister comme secrétaire général. Je remercie aussi M. Bernard Bachelier, qui est l'ancien directeur du CIHEAM à Grenoble et qui commence maintenant une nouvelle activité en lançant la Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde, dont le sigle, FARM, est un clin d'œil au bilinguisme. Bernard Bachelier a accepté de reprendre le travail de M. Hervieu sur la session sur l'agriculture et la sécurité alimentaire, qui est importante, car, au fond, nous sommes tous concernés par ce que nous mangeons. J'ai appris à cette occasion que «*food security*» veut dire qu'on ne meurt pas de faim tandis que «*food safety*» est la sécurité des aliments, ce qui veut dire qu'on ne s'empoisonne pas. Les deux ont effectivement leur importance.

Ensuite, l'Institut de recherche pour le développement est un institut qui est représenté aujourd'hui par M. Henri Guillaume, chef du bureau à Rabat de l'IRD au Maroc. Il faut dire qu'historiquement, l'IRD s'occupait surtout, je dirais, de l'Afrique sub-saharienne. Lors de la conférence

de Marseille, M. Girard, qui était et est toujours président de l'IRD, avait rencontré le ministre marocain et c'est ainsi qu'est né ce bureau de l'IRD au Maroc. Donc vous voyez qu'il y a déjà quelques résultats concrets de cette initiative de Marseille que nous avons prise en 2002, en association, je dois le dire, avec Yves Lancelot ici présent, breton et marseillais à la fois.

Nous passons maintenant à la Fondation Canon pour la recherche scientifique. Cette fondation avait envoyé spontanément un observateur à Genève, qui a été tout à fait séduit, en particulier par le projet SESAME. Je remercie donc le D^r Tom Eagleton, qui est le coordinateur scientifique, de nous avoir confirmé son support et d'être présent aujourd'hui.

Le CERN, que tout le monde connaît, nous avait accueilli l'an dernier dans le cadre de son 50^e anniversaire. Le directeur général, Robert Aymar, a aimablement été d'accord pour maintenir un certain soutien cette année, bien que cela ne soit pas la tradition du CERN, qui ne soutient que les conférences ayant lieu au CERN. Nous avons ainsi une représentation éminente du CERN avec John Ellis, qui va animer, comme l'an dernier, la session sur l'extension du programme aux Etats non-membres, en particulier les pays du Sud.

Le P^r Herwig Schopper, qui est un ex-directeur général du CERN et le promoteur du projet SESAME, présidera une session sur ce projet mardi matin. SESAME est un projet parrainé par l'UNESCO, pour la région Méditerranée et Moyen-Orient, et ce projet est à l'heure actuelle en construction à Amman. Ce sera un laboratoire international, un peu comme un mini-CERN : ses statuts sont copiés sur ceux du CERN.

Le P^r Carlo Rubbia, prix Nobel de physique 1984, ex-directeur général du CERN lui aussi, nous présentera cet après-midi sa vision sur les nouvelles énergies pour le XXI^e siècle. Et je dois dire personnellement qu'en tant qu'ancien du CERN moi aussi, nous sommes très honorés par cette forte participation du CERN qui prouve que le CERN n'est pas une tour d'ivoire, on pourrait dire d'ailleurs un «*tunnel d'ivoire*», mais est tout à fait impliqué dans les problèmes auxquels le monde d'aujourd'hui doit faire face.

Enfin, car elle est venue en dernier par le calendrier, je suis particulièrement heureux de remercier l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord, NATO ou OTAN, (suivant qu'on est anglais ou français), qui, en plus d'un soutien financier tout à fait considérable, nous a donné un statut spécial : dans le langage OTAN, ce colloque est un *Advanced Research Workshop*, c'est-à-dire qu'avec ce statut, nous sommes censés ne pas être trop nombreux, et nous devons présenter des recommandations en plus de comptes rendus.

Ces comptes rendus seront d'abord publiés en anglais par une maison d'édition qui s'appelle IOS Press et on peut être assuré qu'il y aura une large diffusion par tous les organes de diffusion de l'OTAN. Nous sommes déjà sur le site Web de l'OTAN.

Compte tenu du fait qu'un certain nombre de scientifiques ou jeunes scientifiques maghrébins sont peu familiers avec l'anglais, nous avons obtenu de publier également une édition française, qui paraîtra dans la revue *Sciences* de l'AFAS. Paul Faugeras, qui est un ancien du CERN également, a bien voulu se charger de l'édition des comptes rendus et il vous demande instamment de lui donner une copie informatisée de vos présentations, et si possible quelque chose d'écrit. Outre que cela lui faciliterait la tâche, vous serez sûrs que ce faisant, vous pourrez donner des nuances à votre pensée. Donc c'est votre intérêt.

Je terminerai enfin en disant que l'OTAN, comme je vous l'ai déjà dit, nous encourage à présenter des recom-

mandations et ceci est très important. Je pense que ces recommandations, qui doivent être brèves - quelque chose qui fait plus d'une page ne sera pas lu - et concrètes, pourront avoir un retentissement considérable. Comme vous l'avez vu, nous avons des salles de travail et je crois que des choses qui concernent aussi bien un réseau de fibres optiques que les problèmes des femmes et de la science, ou de l'agriculture, ou de l'intégration européenne, des visas pour les chercheurs etc., pourraient faire l'objet de recommandations, et je crois que c'est un excellent véhicule pour que ces recommandations soient suivies d'effets.

Je vous remercie et je passe la parole à M. Pierre Appriou, que je remercie d'être présent.

Les actions de la France et le partenariat franco-marocain

Pierre Appriou

Conseiller scientifique à l'Ambassade de France au Maroc

Je suis très heureux de voir cette réunion se tenir au Maroc. Je crois que lorsque M^{me} Bornemann-Blanc est venue me voir la première pour me présenter une demande de soutien pour votre manifestation, l'Ambassade de France a répondu présent immédiatement. Pour différentes raisons d'ailleurs ; des raisons scientifiques tout d'abord : l'Ambassade manifeste un intérêt à toutes les manifestations diverses et variées qui se tiennent au Maroc - elles sont très nombreuses et j'en dirais un mot tout à l'heure. Mais également pour des motifs plus personnels, M^{me} Bornemann-Blanc et moi ayant des relations anciennes : lorsque j'étais président de l'université de Brest nous avons mis en place ensemble une manifestation scientifique à Brest qui s'appelle «Sciences et éthique» et qui dure maintenant depuis presque 10 ans. J'ai donc répondu avec enthousiasme à cette sollicitation.

Tout d'abord, je voudrais, au nom de l'Ambassade, accueillir et souhaiter la bienvenue à tous les ressortissants français qui ont fait le déplacement au Maroc, pour leur dire tout l'intérêt, encore une fois, que nous accordons à leur présence ici et à l'intérêt que ce genre de manifestation internationale révèle pour l'implication de la France.

Je suis un petit peu gêné de parler du partenariat franco-marocain puisque je m'aperçois qu'il n'y a pas que des Français et des Marocains dans la salle, mais je crois que c'est mon rôle, en tant que conseiller scientifique à l'Ambassade de France, de faire un point sur ce partenariat. Le partenariat franco-marocain est extrêmement vaste et repose en fait sur des instances que je vais essayer de vous expliciter de la manière la plus rapide possible.

Il y a tout d'abord des comités sectoriels et thématiques (CST). Ces CST sont au nombre de cinq et recouvrent à peu près la totalité des échanges que la France et le Maroc peuvent avoir. C'est donc extrêmement varié et le comité sectoriel et thématique qui nous intéresse ici aujourd'hui est le CST n°1, qui est celui qui s'occupe de l'éducation, au sens large, de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Les décisions ou les orientations qui sont proposées par ces comités sectoriels et thématiques sont ensuite entérinées par un conseil, le Conseil d'orientation et de planification (COP) du partenariat. Ce Conseil se veut décisionnel, mais pour qu'il le soit effectivement, encore faut-il qu'au cours d'une réunion, dite à haut niveau, et qui réunit tous les ans les deux Premiers Ministres des gouvernements français et marocain, ces orientations préconisées par le COP soient validées par les deux Premiers Ministres. Cette année, cette réunion à haut niveau sera un peu décalée dans le temps : en règle générale, elle se tient en juillet, mais cette année, elle se tiendra en octobre ou novembre.

Pour revenir au CST «éducation, enseignement supérieur et recherche», je crois qu'en ce qui concerne les deux derniers volets, enseignement supérieur et recherche, on se trouve actuellement dans un contexte extrêmement important qui est celui du changement de l'enseignement supérieur mondial, européen en particulier. Une réunion qui vient de se tenir à Tarragone en juin 2005 et dont j'ai reçu, pas plus tard que ce matin, le résumé de la déclaration finale, montre toute l'actualité du travail que l'on fait entre la France et le Maroc. Je vous lis simplement

deux ou trois points de cette déclaration de Tarragone : «La participation des universités à la construction d'une société euro-méditerranéenne s'avère urgente et nécessaire» et les universités des pays de l'Union européenne qui étaient présentes à Tarragone «reconnaissent la question méditerranéenne comme prioritaire pour définir le futur politique et culturel de l'Europe». Donc je crois qu'effectivement, le moment semble venu de créer une zone euro-méditerranéenne d'enseignement supérieur et de recherche. Je crois aussi que toutes les conditions sont remplies pour permettre au Maroc d'être le pilier dans la création de cette zone euro-méditerranéenne d'enseignement supérieur et de recherche, au niveau des Etats maghrébins et des Etats du pourtour méditerranéen.

Alors, que fait l'Ambassade de France pour essayer de permettre au Maroc de s'intégrer dans cet espace européen de l'enseignement supérieur et de la recherche ? On peut, à ce niveau, trouver deux types d'actions :

1) Premièrement un type d'actions liées à l'annuité budgétaire : ce sont des programmes de recherche, des programmes d'actions intégrées, liés à l'agriculture ou à l'agronomie. Ces programmes d'actions intégrées consistent à mettre en relation des équipes marocaines et des équipes françaises sur un sujet donné, avec une aide qui est attribuée à ces équipes pour une période déterminée de quatre ans normalement. Ce programme dure depuis maintenant une vingtaine d'années et a permis de lancer les bases d'un arrimage, je crois extrêmement fort, de la recherche marocaine sur la recherche française dans le cadre d'un partenariat que je dirais parfaitement réussi.

Un changement est intervenu l'année dernière sur ce programme d'action intégrée : pour qu'une action intégrée soit éligible, il faut maintenant qu'il y ait deux équipes marocaines d'un côté et deux équipes françaises de l'autre, de manière à aller vers la création de réseaux. Nous croyons en effet que la recherche doit maintenant se développer autour de réseaux structurels.

Par ailleurs, dans ce cadre d'annuité budgétaire, je voudrais mentionner également l'aide aux colloques, qui a permis par exemple à l'Ambassade de France d'aider à la mise en place de cette réunion d'aujourd'hui. Ces demandes d'aide pour des colloques sont extrêmement nombreuses : on doit avoir chaque année une centaine de demandes et on peut en soutenir 20 à 25 chaque année, avec des critères comme «colloque international», bien sûr, et, bien entendu, avec le français favorisé.

2) Ensuite, nous avons des programmes cette fois pluriannuels. Ces programmes se font dans le cadre de ce qu'on appelle des fonds de solidarité prioritaire (FSP), puisque le Maroc fait partie de la zone de solidarité prioritaire. Et ces programmes, financés sur ce fonds de solidarité prioritaire sont extrêmement nombreux ; j'en oublierai certainement dans l'énumération que je vais faire, mais je parlerai des plus importants. Il y a deux types de programmes financés sur le fonds de solidarité prioritaire : ceux qu'on appelle des programmes PI, c'est-

à-dire qu'ils sont gérés directement par l'Ambassade de France et puis d'autres programmes mobilisateurs qui sont gérés par le ministère des Affaires étrangères à Paris.

En ce qui concerne les programmes PI, je citerai deux programmes importants : un programme nouveau puisqu'il s'est mis en place en octobre 2004, et qui porte sur l'appui à la réforme de l'enseignement supérieur marocain. Ce programme comporte trois volets : un volet de gouvernance de l'université, un volet à générique pédagogique avec la mise en place de formation professionnelle, licence professionnelle ou *master* - puisqu'on est dans le cadre du LMD, que le Maroc a choisi de suivre bien évidemment, ce qui facilite énormément les choses -, et puis un troisième volet qui a trait à la restructuration de la recherche et la mise en place d'écoles doctorales. Voilà un petit résumé de ce programme financé sur le fonds de solidarité prioritaire ; c'est un programme qui va fonctionner sur quatre années budgétaires et qui représente en gros quatre millions et demi d'euro.

Un programme qui, lui, dure depuis maintenant trois ans et qui arrive vers sa fin, tourne autour de la valorisation de la recherche et la mise à niveau des PME et PMI marocaines. Là, il s'agit d'un transfert entre l'université et les petites et moyennes entreprises marocaines. Je crois que c'est un programme extrêmement intéressant, car trois réseaux ont été mis en place : un réseau de génie industriel, un réseau de diffusion technologique et un réseau qui est appelé «réseau Maroc incubation essai-mage» : là, c'est vraiment la création de mini-entreprises à partir de projets de recherche des universités marocaines. Au bout de trois ans, les résultats commencent à tomber et l'on peut envisager d'ores et déjà la création d'une dizaine d'entreprises à partir des résultats de la recherche dans les laboratoires marocains. Pour ce programme, il reste une année en cours - et l'enveloppe est là aussi d'à peu près quatre millions et demi d'euro.

En plus, nous avons des programmes nouveaux importants, qui sont cette fois des FSP, donc mobilisateurs, c'est-à-dire suivis directement par le ministère des Affaires étrangères à Paris. Le premier s'intéresse aux sciences humaines et sociales au Maghreb. Je crois que c'est un secteur qui avait été un peu oublié et le fait de mettre en place ce FSP «sciences humaines et sociales» au Maghreb est révélateur de la nouvelle dynamique qui s'est mise en place au cours de ces dernières années. Le premier comité de sélection des projets pour ce FSP s'est tenu en mai dernier à Paris, et je crois que les premiers résultats nous permettent de penser que la nouvelle dynamique est enclenchée et devrait permettre à ce secteur un peu difficile, un peu délicat, un peu politique, de se développer et de donner toute sa force et sa nouveauté dans l'accompagnement de la mise en place de cette nouvelle dynamique au niveau de l'enseignement supérieur et de la recherche.

A côté de cela, il y a un certain nombre d'autres projets financés sur le fonds de solidarité prioritaire qui courent depuis plusieurs années : un projet CHORUS, un

projet SIRMA - certains d'entre vous au CIHEAM connaissent bien évidemment le SIRMA puisqu'un assistant technique du CIRAD pilote ce projet qui porte sur les systèmes irrigués au Maghreb, et non pas simplement au Maroc ; c'est un projet qui intéresse la totalité du Maghreb.

Je dirai un mot également sur un FSP, nouveau celui-là, qui me semble intéressant - et je crois que l'AFAS sera aussi intéressée, mais sans doute est-elle déjà au courant. C'est un projet qui porte sur la culture scientifique et technique, et je crois que ce nouveau projet, qui est géré d'ailleurs par l'IRD, est très intéressant.

Enfin un dernier, qui n'est pas encore en place mais qui devrait l'être, on l'espère en tous les cas, au mois d'octobre prochain, a trait à la mobilisation de la diaspora marocaine. Je crois qu'on attend beaucoup de ce projet de mobilisation de la diaspora marocaine dans l'enseignement supérieur, la recherche, mais également le domaine médical. A ce propos, je vous engage également à vous faire les porteurs de ce projet et inviter les Marocains installés en France à se porter volontaires sur la dynamisation de ce dernier FSP sur la diaspora marocaine.

Bien entendu, toutes ces relations, tout ce travail se font en collaboration étroite avec les grands organismes de recherche français qui sont tous impliqués : CNRS, INSERM, IRD, CIRAD, etc., IFREMER également dans le domaine des sciences de la mer. Je crois que tout ce travail est extrêmement porteur, extrêmement révélateur de ce partenariat exemplaire et s'il y a un message que je veux faire passer, c'est de faire en sorte que ce partenariat perdure, se renforce et permette au Maroc de s'intégrer le plus rapidement possible dans cet espace européen de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Je parlais tout à l'heure du colloque de Tarragone qui vient d'avoir lieu. Dans ce réseau d'enseignement supérieur, composé des universités et des centres de recherche de la Méditerranée, qui doit être soutenu par les institu-

tions politiques, communautaires, étatiques, locales des pays participants, les orientations qui sont préconisées sont les suivantes, et je veux les rappeler, même si cela coule de source :

1. Le développement des compétences.
2. La croissance de l'emploi des jeunes dans les secteurs exigeant des grandes compétences culturelles à travers un système qui est préconisé depuis longtemps mais qui pose de plus en plus de problèmes, celui des stages et des initiatives pilotes, d'une nature entrepreneuriale, soutenus par les universités et les réseaux auxquels je faisais référence tout à l'heure ; le RMIE œuvre dans ce sens.
3. La connaissance mutuelle, et je crois que c'est important, entre les jeunes étudiants, les professeurs, les chercheurs, mais également le personnel administratif et technique, à travers le renforcement de la mobilité, des échanges et puis de la communication.
4. Le respect également pour le patrimoine culturel et environnemental euro-méditerranéen à travers différentes possibilités, et je pense particulièrement à la traduction écrite.
5. Le développement de programmes euro-méditerranéens d'enseignement, de jumelages et d'autres initiatives pour faire avancer la formation et la diffusion des connaissances.
6. Le dialogue interculturel - et je crois que la réunion d'aujourd'hui est très importante à ce niveau -, le renforcement des valeurs humanistes, profondément arrêtées et profondément ancrées dans tous les pays impliqués, à travers la participation de la société civile, et puis également la liberté académique et l'indépendance des universités.

Et la transition est toute trouvée pour le passage de la parole au président de l'université de Casablanca, M. Berkaoui. Merci de votre attention.

Allocution de bienvenue

Mohamed Berkaoui

Président de l'université Hassan II de Casablanca

Mesdames, Messieurs, M. le conseiller culturel adjoint, chers professeurs, cher maître, messieurs et mesdames les doyens, présidents, c'est avec un réel plaisir que je participe aujourd'hui à l'inauguration des travaux de cette importante rencontre qui est placée sous le signe du partage du savoir des pays méditerranéens. Excusez-moi d'être un peu en retard pour l'ouverture de ces travaux.

M. le ministre ainsi que M. Ouali comptaient venir pour honorer l'ouverture de cette conférence de leur présence, mais, comme vous le savez, les contraintes de la rentrée ne leur ont pas permis de se libérer, et moi-même, j'ai été retenu dans des réunions. M. Ouali vous transmet toutes ses salutations en souhaitant un réel succès à vos travaux. Le Pr Hoummada m'a dit que, peut-être, si l'occasion se

présente, ou plutôt demain en fin de soirée, on aura l'occasion de voir M. le ministre et M. Ouali.

Notre université est très honorée d'accueillir une telle rencontre qui accueille des sommités d'intervenants et permettez-moi de vous souhaiter la bienvenue en mon nom personnel et au nom de l'université Hassan II de Casablanca. D'éminentes personnalités sont venues d'ici et de pays amis pour faire le point sur l'avancement de la recherche et pour partager leurs connaissances sur des sujets d'actualité qui intéressent avec acuité l'ensemble des pays, aussi bien au nord qu'au sud de la Méditerranée.

Je ne vais pas revenir en détail sur le programme, qu'on vous a peut-être déjà présenté, mais il comporte des thématiques très importantes sur lesquelles je voudrais insister, comme les technologies de l'information et la communication, qui permettront sans nul doute le développement indispensable du rapprochement des peuples des deux rives de la Méditerranée, assurant ainsi notamment aux hommes de sciences une circulation rapide de l'information entre eux et l'échange de leur savoir et de leur savoir-faire nécessaires au progrès.

Je veux évoquer aussi les problèmes de risques naturels en Méditerranée, notamment ceux liés aux séismes, au volcanisme, dans notre région. Notre région n'est nullement épargnée non plus par l'importance du dessalement de l'eau de mer : les traitements de l'eau nous concernent, tout simplement comme moyen de pallier le manque d'eau potable à cause de la sécheresse qui frappe de manière accrue les pays du pourtour méditerranéen. Bien sûr, sans oublier la sécurité alimentaire, le rôle de la recherche dans le développement du secteur agricole et alimentaire pour assurer un approvisionnement suffisant, et cela demande la participation de notre population pour lutter contre les intoxications (les intoxications néfastes de différentes natures), les maladies animales émergentes et leurs impacts sur la santé de l'homme.

Les problèmes énergétiques se posent avec acuité, et le Maroc n'est pas épargné pour autant de nos jours, vu l'augmentation du prix du baril de pétrole, car le Maroc est importateur à 100 %. Il n'y a qu'à voir le choc pétrolier qui sévit actuellement pour se convaincre de l'urgence de recherche de solutions palliatives de développement et d'autres sources d'énergie : votre rencontre suscite pas mal d'intérêts dans ce domaine.

Ce sont là quelques aspects des problèmes qui seront traités lors de cette rencontre et qui serviront de toile de fond pour le partage et l'actualisation des connaissances dans ces domaines et aussi pour chercher à développer un nouveau genre de partenariat scientifique entre chercheurs du Sud et leurs homologues du Nord. Et bien sûr pas seulement en matière de recherche mais aussi en matière de partage et d'expériences, en matière d'enseignement et de recherche.

M. Appriou, tout à l'heure, l'avait précisé : dans un partenariat et une coopération exemplaires entre le Maroc et la France, mais aussi avec d'autres pays européens et du pourtour méditerranéen, notre pays s'est engagé dans

le système international de l'enseignement et de la recherche et en particulier dans le système international «LMD». Cette année, le Maroc et les universités marocaines sont dans la troisième année d'application de cette réforme, et j'espère que cette grande réforme apportera encore davantage de rapprochements entre les chercheurs européens et ceux du pourtour méditerranéen et dans le monde.

Cette troisième année s'est faite grâce au partage du savoir entre les pays amis pour essayer de tirer profit des expériences de part et d'autre, et je ne reviendrai pas sur ce qu'a beaucoup développé M. Appriou, avec la coopération française et la coopération étrangère pour développer la gouvernance de nos universités qui, aujourd'hui, vivent une autonomie pédagogique, une autonomie scientifique, une autonomie administrative et financière. Cela nous impose des défis, bien sûr, de structuration et d'amélioration de nos rendements internes, externes, au profit du développement durable de notre région, de notre pays et de notre planète.

A côté de la gouvernance, il y a tout le volet «enseignement» et donc l'utilisation des nouvelles méthodes pédagogiques, comme l'enseignement à distance, l'*e-learning*, le campus virtuel. Tout cela vise à un rapprochement pour favoriser l'essor et le développement de nos pays respectifs. Mais cela ne peut avoir une pérennité sans une recherche de qualité, sans une recherche fondamentale, bien sûr, une recherche développement, une recherche action, qui accompagnent tout ce processus.

Donc, on a travaillé ensemble, avec vous, pour essayer de tirer comme je le disais, des expériences réussies de part et d'autre. Notre université, à l'instar des treize autres universités marocaines, sont aussi dans une phase cruciale de structuration de la recherche pour réunir les conditions favorables qui permettent à nos chercheurs de concrétiser, de pérenniser leur production scientifique en matière d'innovation, en matière aussi de créations nouvelles. Pour toutes ces raisons, nous sommes donc honorés d'accueillir aujourd'hui cette rencontre qui traite des thématiques d'actualité, avec, en conclusion, nos souhaits les plus vifs pour la réussite de cette rencontre et pour qu'elle arrive à atteindre les objectifs fixés, c'est-à-dire un rapprochement encore plus fort entre les chercheurs participants des deux rives.

Je ne peux terminer sans féliciter les organisateurs, que j'ai côtoyés et que j'ai vu travailler pour réussir cette manifestation. Vous le savez tous comme moi, réussir un tel challenge n'est pas évident et je tiens à leur rendre hommage pour leur acharnement, leur investissement. Hier, en regardant les informations télévisées, je voyais notre professeur de l'AFAS, M. Klapisch, qui présentait cette manifestation. Je peux vous dire que cette conférence trouve un écho très favorable au niveau régional, au niveau de notre Ministère et de la communauté scientifique marocaine, et je l'en remercie vivement.

Et bien sûr je n'oublie pas le comité d'organisation local, les professeurs de l'université Hassan II, qui ont soutenu la commission scientifique et la commission de

recherche et de coopération de l'université Hassan II, et tous les autres organismes, à commencer par l'Ambassade de France, qui ont soutenu cette manifestation.

Je suis convaincu que les résultats de vos travaux seront d'une grande richesse et auront un impact certain

sur le développement de la recherche et permettront d'asseoir une coopération dynamique, fructueuse et mutuellement profitable dans nos régions méditerranéennes. Encore une fois je souhaite un grand succès à vos travaux et vous remercie de votre attention.

Allocution de bienvenue

Pascal Colombani

Président de l'AFAS

C'est un très grand plaisir d'être ici et de trouver, dans une atmosphère conviviale, un grand nombre de personnalités pour cet événement qui, comme je vais vous expliquer dans quelques minutes, s'inscrit dans une suite de conférences et de colloques sur le dialogue scientifique Nord-Sud.

Robert Klapisch a déjà remercié les nombreuses organisations qui sont venus à notre secours, donc je ne vais pas y revenir. Je voudrais cependant faire une mention spéciale pour l'Institut de physique nucléaire et des particules, les universités Hassan II Aïn Chock et Ibn Tofaïl, le soutien de l'OTAN qui nous a permis finalement de monter ce colloque, avec naturellement les soucis habituels en ce qui concerne la logistique, les problèmes divers et variés, mais quand même avec un petit peu de marge.

Pour l'histoire, l'AFAS est une très vieille association fondée par Claude Bernard, qui a eu ses heures de gloire jusqu'à assez récemment. Elle est en quelque sorte entrée un peu en léthargie jusqu'à ce que Robert, il y a quelques années, la tire de son assoupissement en l'orientant d'une façon très spécifique vers un dialogue entre la société et la science et la technologie : comment faire mieux comprendre aux citoyens l'importance de la science et de la technologie. C'est ce que nous essayons de faire avec de moyens qui sont faibles mais qui ne sont pas inexistantes.

Nous avons un certain nombre de manifestations en France que nous poursuivons à tous les niveaux. Nous organisons ainsi des séminaires qui sont ouverts à tout le monde ; c'est presque de la vulgarisation mais c'est très important, car ils sont très suivis. Nous le faisons en partenariat avec le Conservatoire national des arts et métiers ; avec aussi le Palais de la Découverte à Paris pour d'autres types de séminaires très réguliers. Nous avons également des séminaires avec ce qu'on appelle les «décideurs», c'est-à-dire des industriels, des responsables du privé ou des administrations - curieusement d'ailleurs, ces personnes sont en fait assez peu au courant des grands enjeux de la science et de la technologie.

En plus de toutes ces activités régulières, nous avons

lancé, depuis quelques années et plus spécifiquement, ce dialogue scientifique Nord-Sud. Nous avons commencé en 2002, je crois, à Marseille avec une manifestation qui a coûté très cher à notre trésorerie, mais finalement nous nous en sommes remis, et cette manifestation a eu le mérite de lancer le sujet d'une façon très large, très vaste. Si vaste que pour l'édition suivante, qui s'est tenue à Genève, au CERN, dans le cadre de son 50^e anniversaire et avec son soutien - merci à nouveau - nous nous étions refocalisés sur une réunion de plus faible format, un peu semblable au format que nous avons aujourd'hui, et dans laquelle, comme cet année, nous essayons de réfléchir aux grands sujets : énergie, santé, alimentation, mobilité, communication, environnement. Donc réfléchir à ces grands sujets et peut-être pas tous d'ailleurs à chaque fois, mais dans un cadre relativement restreint et en ayant là les personnalités qui apportent véritablement beaucoup par leurs travaux et par la réflexion.

Ce qu'on discute finalement ici, ce sont les grands sujets de la science et de la technologie ; et à qui s'adressent ces grands sujets qu'on va traiter aujourd'hui, demain et après-demain : les techniques et les technologies énergétiques, la télécommunication, la génomique, les technologies de l'information, la science de l'Univers. Finalement on peut dire qu'il y a quand même des choses qui ont changé, qui changent le monde. On parle de fracture numérique, quand on parle d'OGM, quand on parle d'énergie, mais malgré tout, ces dernières années nous ont apporté le génome, vous avez aussi l'Internet, vous avez le soleil. Finalement c'est ce triptyque : le génome, le soleil, Internet, qui fait changer en ce moment la façon de construire le dialogue Nord-Sud dans le domaine scientifique et technique,

Nous nous adressons également à la façon dont on peut développer les connaissances scientifiques et donc on parlera de SESAME, projet spécifiquement méditerranéen. On va parler aussi de beaucoup d'autres choses, comme de la diffusion de la connaissance et de la façon de vivre, parce qu'il faut penser aussi à ces aspects un peu sociologiques : comment fait-on tout cela et dans quel

contexte ; tout cela évolue. Cette année donc, nous avons une table ronde spéciale sur la place de femmes dans la science et la technologie. Je crois à l'importance de ces dialogues. Il est tout particulièrement important que nous sachions de nos compagnes la perception naturellement différente qu'elles apportent dans un milieu qui est assez masculin. Il sera intéressant d'entendre comment

ces choses peuvent être vues ou sont vues par nos compagnes et comment elles peuvent évoluer, en particulier comment peuvent se redéfinir en quelque sorte les relations entre les sexes dans nos pays.

Alors pour laisser du temps à cette table ronde, qui est très importante, je vais m'arrêter là et vous remercie de votre attention.

Session 1

Extension de l'Espace européen de recherche à la zone Euro-Méditerranée

Responsable de la session :

Jean-Patrick Connerade

Imperial College of London

Président d'Euroscience, Strasbourg

Introduction¹

Jean-Patrick Connerade

Je pense que certains d'entre vous sont déjà au courant des accords signés à Lisbonne et à Barcelone, qui visent à faire de l'Europe une «société de la connaissance», un terme à la mode. Evidemment toutes les sociétés humaines aspirent à devenir des «sociétés de la connaissance» ; c'est donc un projet universel et qui place aujourd'hui le chercheur au centre de toutes les préoccupations. C'est en fait le nombre de chercheurs et leur qualité qui vont définir ce qu'il adviendra de cette société de la connaissance. Cet après-midi, nous allons faire un peu de sociologie et parler du contexte dans lequel ce chercheur va travailler et aussi de l'accueil qu'on lui réserve. Cette sociologie du monde scientifique lui-même est un aspect assez particulier de la sociologie, mais la place du chercheur au centre de cette nouvelle société est désormais acquise et nous devons nous poser les questions suivantes :

- Quelles doivent être les conditions de travail des chercheurs ?
- Comment feront les sociétés de demain pour attirer et pour valoriser leurs chercheurs ?
- Comment évaluer leur potentiel et leur travail ?
- Comment faire en sorte que les jeunes soient attirés par une carrière dans la recherche ?

Ce sont des questions essentielles qui vont toucher l'économie de tous nos pays.

Nous commençons donc par un exemple réussi de l'accueil des chercheurs, celui de l'ICTP, le laboratoire international de Trieste créé par Abdus Salam, et qui joue un rôle essentiel dans la diffusion et le partage du savoir dans notre région.

¹ Transcription de l'exposé en français.

L'ICTP, un modèle d'excellence en matière de formations doctorale et post-doctorale pour le Sud¹

Katepalli R. Sreenivasan

Directeur de l'ICTP Trieste

Les frontières de la science se sont très rapidement élargies, du moins ces 100 dernières années. Pour beaucoup d'instituts dans les pays en voie de développement, il est souvent très difficile de rattraper toutes les avancées de la science et d'y prendre une part active. On a conçu nombre de projets différents pour impliquer les pays en voie de développement, non seulement pour leur permettre de combler leur retard mais aussi de véritablement repousser les limites de la science. L'ICTP, le Centre international de physique théorique, est un exemple d'organisme qui construit des ponts entre pays en voie de développement et pays développés. Son but est de mettre les connaissances scientifiques les plus avancées à la disposition de tous, y compris les pays les moins développés, de telle sorte que des infrastructures de recherche de haut niveau puissent s'enraciner dans ces pays. C'est là le thème de notre institution, et par exemple, lorsque le Maroc se lance dans un nouveau projet scientifique et une coopération avec ses voisins du Nord, cela donne un aperçu de la manière dont l'ICTP fonctionne, de ce qu'il fait et où et comment il réussit. Il est donc peut-être utile d'expliquer ces points et c'est dans cet esprit que j'ai proposé de faire cette présentation.

Je commencerai, suivant la suggestion du président de cette session, par dire quelques mots sur l'histoire de l'ICTP. L'Institut a été fondé il y a quelque 40 ans par Abdus Salam, lauréat du prix Nobel en 1979, et dont les travaux avaient d'ailleurs des liens directs avec Carlo Rubbia. C'est une institution qui opère sous accord tripartite entre, d'une part, deux agences des Nations unies, l'UNESCO et l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), et, d'autre part, le Gouvernement italien. Cet accord est réellement très important car le caractère international nous offre une protection qui donne la possibilité à cette institution d'être internationale, c'est-à-dire que des pays comme le Maroc par exemple, peuvent venir et sentir que l'institution leur appartient. D'un autre côté, comme vous le verrez, le Gouvernement italien joue un rôle extrêmement important parce qu'en fait, il nous finance pour une large part. La mission du Centre est de favoriser le développement d'études et de recherches avancées dans les pays en voie de développement. Comme je l'ai dit, l'UNESCO et l'AIEA ont donné de l'argent ; nous en recevons également de la SIDA (Swedish International Development Cooperation Agency), de la Kuwait Foundation for the Advancement of Science, et

d'autres, mais à peu près 82 % du budget vient de l'Italie. Ce pays s'est montré extrêmement généreux et je pense que c'est entré dans la culture de la communauté scientifique italienne depuis de nombreuses années.

Une institution comme la nôtre s'intéresse non seulement à la création de savoir, dans laquelle, bien sûr, beaucoup d'autres institutions s'investissent, mais aussi dans le partage de ce savoir, ce qui est au moins aussi important. C'est le principe selon lequel le Centre travaille.

Pour ceux d'entre vous qui ne savent pas où est situé l'ICTP, la figure 1 montre l'Europe et Trieste au nord-est de l'Italie. Dans la partie agrandie, vous avez Trieste en bas, et quelques kilomètres au nord, le campus où se trouve l'ICTP. Depuis sa création et sous son *leadership*, un certain nombre d'autres institutions ont germé, non seulement sur le campus de l'ICTP mais aussi à l'est de la ville dans la zone du Science Park. L'ICTP fait partie des institutions qui s'impliquent dans les pays en voie de développement. Elettra, dont vous entendrez peut-être parler demain, n'est pas loin. C'est une autre institution à laquelle Carlo Rubbia a pris part, et qui s'intéresse à la capacité scientifique qui se développe dans les pays en voie de développement.

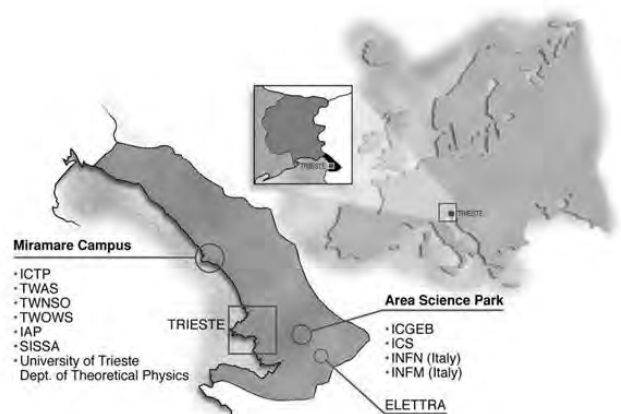


Fig. 1

¹ Traduction de la transcription de l'exposé en anglais.

Je vais maintenant dire quelques mots sur la façon dont nous sommes organisés.

Nous avons quelque 28 scientifiques «permanents» - entre guillemets parce qu'à l'UNESCO rien n'est permanent, mais c'est l'idée générale - qui sont impliqués dans la recherche, certains sont en fait des scientifiques confirmés et nous aimerions que tous le deviennent afin de pouvoir être impliqués pleinement dans la recherche et la coordination de la formation.

Nous avons également 110 enseignants temporaires : quelque 52 post-doctorants, des enseignants associés - qui sont des personnes ayant acquis un renom scientifique dans leur propre pays et qui viennent passer quelque temps avec nous afin de construire des ponts entre eux et nous. Certains enseignants temporaires sont des visiteurs de longue durée qui, par exemple, ont à écrire un livre, ou sont en congé sabbatique. Nous sommes heureux d'accueillir de tels invités, qui font essentiellement de la recherche.

Enfin, nous avons environ 420 personnes chaque année qui sont des visiteurs de courte durée, parmi lesquels on trouve nos «associés». Ces personnes qui sont associées au Centre pour des durées d'une dizaine d'années, viennent presque chaque année ou parfois une année sur deux, pour environ deux mois, et je vous montrerai des statistiques sur le Maroc par exemple. Les associés sont des personnes qui poursuivent leur propre carrière dans leur pays mais qui utilisent l'ICTP comme moyen de rester en contact avec le reste de la communauté et de faire des choses qu'elles ne pourraient pas faire chez elles parce qu'elles sont trop prises par leurs activités d'enseignement et des tâches bureaucratiques ou autres.

Cela forme véritablement le noyau des activités de recherche au Centre. Mais ce qui fait la particularité du Centre est que nous avons d'ordinaire 4 000 à 6 000 visiteurs par an : 6 191 en 2003 et un peu plus en 2004. Ces visiteurs participent à beaucoup de conférences, stages et ateliers, qui sont parfois des formations pédagogiques à la frontière même du sujet. Cela dépend de l'objet d'un programme particulier : les programmes sont organisés par nos scientifiques avec l'aide d'un certain nombre d'autres scientifiques dans le reste du monde. Donc le Centre travaille non seulement en raison des personnes qui y sont mais également en raison des liens qu'il a avec un certain nombre d'autres personnes à l'extérieur.

Bien entendu, pour s'occuper de tous ces visiteurs, pour obtenir des visas, des hébergements etc., nous avons un état-major de 125 personnes.

La figure 2 montre les statistiques entre 1970 et 2003 (nous n'avons pas de statistiques avant 1970 et je n'ai pas encore pu insérer les statistiques de 2004). Nous avons beaucoup de visiteurs en termes d'hommes-mois, venant des Etats-Unis et d'Europe. Les plus nombreux viennent d'Italie et d'Europe de l'Ouest parce que nous en sommes proches. Mais si l'on enlève l'Europe de l'Ouest, les Etats-Unis et une partie de la Russie par exemple, le reste, ce sont vraiment des pays en voie de développement dans

un certain sens : Amérique latine, Afrique, Asie, Chine et d'autres pays d'Océanie y compris l'Australie. Si vous les additionnez tous, cela fait quelque 10 000 visiteurs pour toutes ces années, dont 50 % viennent de pays en voie de développement et 50 % de pays développés. L'idée est en fait de mélanger des personnes d'expériences et de formations différentes, afin qu'ils apprennent d'abord les uns des autres plutôt que des permanents du Centre. Quoiqu'il n'y ait que 50 % de visiteurs de pays en voie de développement, ils représentent 75 % de la quantité d'hommes-mois, c'est-à-dire qu'ils passent plus de temps au Centre que les visiteurs des pays développés.

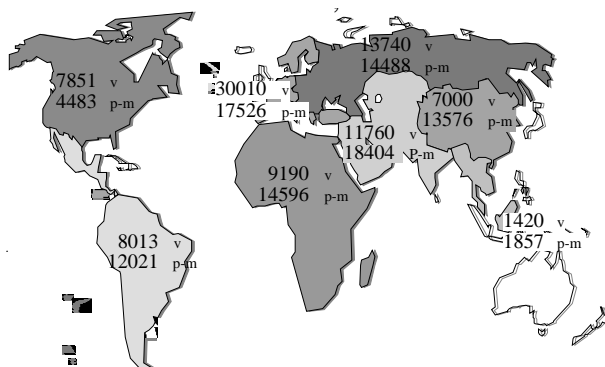


Fig. 2 : Statistiques visiteurs 1970-2003 de l'ICTP
v = visiteurs ; p.m. = hommes-mois

La figure 3 montre l'augmentation du nombre de visiteurs avec le temps. Elle est due principalement à la générosité financière de l'Italie. Ces dernières années, bien que nous n'ayons pas eu plus d'argent, nous avons pu réaliser plus de choses au sein du Centre.

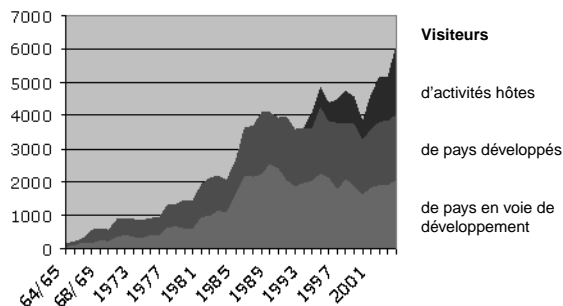


Fig. 3 : Visiteurs ICTP : 1964-2004

Maintenant venons-en aux recherches qui sont faites à l'ICTP et pourquoi elles se font de cette façon.

Le Groupe des hautes énergies est par tradition très important. Il l'a été d'abord du fait de l'intérêt des fondateurs, puis nous l'avons élargi à la cosmologie, la physique des astroparticules et à la matière condensée. Il y a

également une section de physique statistique, de mathématiques pures et appliquées, et une section de physique appliquée, qui comprend la physique médicale, l'optique et les lasers, la dynamique des fluides, etc. Nous avons ensuite une nouvelle section de sciences de la Terre, qui comprend les changements climatiques, l'océanographie, la prédiction des tremblements de terre - toutes ces sciences qui nous ont particulièrement intéressés à travers certaines remarques qui ont été faites ici. Nous avons même eu un programme d'économie environnementale et écologique, ce qui nous a permis d'avoir des relations avec beaucoup d'autres centres.

Je dois faire ici une sorte de déclaration de bon sens : il est très important pour l'ICTP d'avoir un solide noyau d'activité de recherche. L'ICTP ne peut être comme beaucoup d'organisations, comme l'UNESCO par exemple, parce que si nous ne faisons pas de science, nous ne pouvons pas inciter les autres à faire de la science ; et nous devons faire de la bonne science et non pas n'importe quelle science. C'est quelque chose de profondément ancré dans notre mentalité et nous faisons tout notre possible pour respecter ce principe.

Maintenant, on pourrait nous demander pourquoi cet accent sur la physique des hautes énergies et autres matières similaires pour des pays en voie de développement. Qui se soucie de physique des hautes énergies dans ces pays ? Ma réponse comprend en fait plusieurs aspects sur lesquels je veux m'attarder un instant. Prenons quelqu'un issu d'un pays en voie de développement - le Maroc est une exception dans ce cas parce que beaucoup de gens s'intéressent à la physique des particules -, disons un Ougandais qui veut faire de la physique des particules. Qui suis-je pour lui dire que ce n'est pas pour lui et que c'est réservé aux gens de l'Institut d'études avancées de Princeton ? Il doit exister un endroit au monde où une telle personne puisse venir faire ce genre de choses. J'utilise la physique des hautes énergies - je sais que le CERN, bien sûr, est une grande institution dans ce domaine et qui favorise ce genre de choses. Mais pour ces domaines, c'est à l'ICTP qu'en fait beaucoup de gens sont venus. Par ailleurs, si vous vous formez à quelque chose avec rigueur à un moment de votre vie, cela vous restera, et il est important d'acquérir de la rigueur dans sa manière de penser, sans quoi il est impossible de faire quoi que ce soit de valeur.

De plus, je crois vraiment, et je sais que c'est le cas, que les outils utilisés dans l'un des ces domaines peuvent être transférés vers d'autres domaines. Par exemple, je connais des gens qui ont travaillé dans le domaine des micro-ondes cosmiques, du rayonnement de fond de l'Univers, où ils ont utilisé l'analyse pour la cartographie de données, et qui ont en fait utilisé le même genre de techniques pour cartographier, par exemple, les régions les plus reculées du Rwanda.

Enfin, nous parlons aussi du développement durable. Le développement durable doit gérer en fait de très anciens problèmes comme la fourniture d'eau potable et

autres problèmes basiques analogues. Même là, la technologie haut de gamme peut être extrêmement bénéfique et le CERN utilise cette idée en général. Je peux vous donner beaucoup d'exemples où la technologie haut de gamme a montré son utilité pour des problèmes séculaires d'objectifs de développement durable. Dans beaucoup de cas, il s'agit des personnes qualifiées qui ont joué un rôle de noyau pour d'autres institutions. Ce n'est pas prendre ses désirs pour des réalités, c'est déjà la réalité et je connais quelques-unes de ces personnes qui ont été formées à l'ICTP. De plus, je dois dire que nous avons beaucoup de programmes dans un très grand nombre de domaines, même si nous n'avons pas nous-mêmes d'expertise au sein de l'ICTP. Nous impliquons donc d'autres personnes qui sont des experts dans ces domaines, mais je ne veux pas entrer dans les détails.

Nous créons également une nouvelle section de physique des systèmes terrestres, qui consiste en physique des systèmes climatiques, physique et prédictions des tremblements de terre, physique des sols, énergies alternatives, physique de la haute atmosphère. Tout cela est d'un intérêt direct pour beaucoup de pays en voie de développement. Voilà donc ma réponse rapide à la question de ce que nous faisons et pourquoi nous le faisons.

En plus de ces activités principales, nous prenons, dans des pays en voie de développement, des étudiants qui viennent de terminer leur licence et qui sont très brillants mais qui n'ont pas la formation nécessaire pour entrer dans la recherche. Les étudiants de ce niveau ont entre 20 et 23-24 ans et viennent à l'ICTP pour un programme diplômant. Ils passent environ un an à suivre des cours dans différentes branches de la physique et des mathématiques. Dans le groupe qui vient d'obtenir son diplôme il y a quelques jours, les étudiants venaient pour la plupart des pays les moins développés. Sur un groupe de 39, 8 viennent d'Afrique, 11 d'Asie et du Moyen-Orient, 4 d'Amérique latine, et 2 d'Asie centrale. Parmi les quelque 500 étudiants que nous avons eus, 60 % ont intégré une *graduate school* et ont extrêmement bien réussi. Beaucoup d'entre eux restent en relation avec leur pays d'origine et nous envisageons de nouvelles formations en mathématiques appliquées et en physique des systèmes.

Cela ouvre, je pense, une nouvelle voie dans laquelle entrent, à un niveau bas, des jeunes gens qui sont très bons et qu'on mène en général à un très haut niveau. Comme nous sommes en Afrique - le Maroc se considère presque sûrement comme un pays africain - je veux m'attarder un peu sur l'implication de l'ICTP dans la création de centres affiliés en Afrique et dans le reste du monde. Ces centres sont de petits centres mais le niveau d'activités y est très élevé. L'idée générale, en créant beaucoup de telles petites institutions, est qu'il sera possible d'élever le niveau scientifique partout. L'ICTP a contribué à la création d'environ 14 centres affiliés ; 6 d'entre eux sont en Afrique comme le montre la figure 4 (planche I). L'un de ces centres est malheureusement maintenant fermé mais les autres fonctionnent généra-

lement très bien. Il y a également beaucoup d'activités dites externes que nous soutenons en Afrique, comme des rencontres, des stages de formation à thèmes, des ateliers, etc. En Afrique de l'Ouest, par exemple, nous nous sommes, avec le temps, vraiment beaucoup investis dans les mathématiques à travers un effort concerté. Année après année, nos gens vont enseigner et organiser d'autres activités, comme des réseaux de personnes, des *graduate programs*, etc.

Les visiteurs et *fellows* sont des expatriés qui veulent revenir dans leur pays dans quelque temps. Nous les aidons un peu financièrement comme pour les associés. Parmi les 256 associés que nous avons, 30 % environ viennent d'Afrique, et le programme STEP a été créé pour eux. Il concerne les personnes qui veulent faire un PhD : ils doivent être inscrits et obtenir leur diplôme dans leur propre pays mais ils viennent passer la moitié de leur temps à l'ICTP afin d'être en contact avec le reste du monde en général, et l'ICTP en particulier. Nous avons aussi des *fellows* dits TRIL qui sont des gens venant de pays en voie de développement qui passent quelque temps dans des laboratoires italiens. Ces personnes y passent environ un an, ils sont financés par l'ICTP pour une large part, le reste du financement venant de ces institutions. Nous sommes également en train de créer quelques autres programmes au Kenya et ailleurs. Ce pour vous donner une idée générale d'où viennent les gens, en particulier d'Afrique. Nous avons, par exemple, comme vous pouvez le voir, 785 visiteurs venant du Maroc, et il y a 5 institutions qui collaborent avec l'ICTP en général. Comme vous le voyez, nous sommes largement concentrés sur la partie occidentale du continent et beaucoup aussi sur l'Est ; et, bien sûr, il y a une grande partie qui, pour une raison ou une autre, n'est pas beaucoup impliquée dans l'ICTP.

Une des dernières choses dont je veux parler est la suivante : bien que notre intérêt se porte principalement sur la physique et les mathématiques, dans un sens très large, il n'est pas défini très strictement ; nous nous impliquons parfois dans des projets qui sont en dehors de ces domaines d'une certaine manière. Laissez-moi vous donner un exemple : autrefois, nous fournissions des livres et des abonnements à des bibliothèques à un certain nombre de scientifiques qui avaient des problèmes pour accéder à toute la littérature. Aujourd'hui, le monde a changé et l'on accède à la littérature électroniquement. Mais le goulot d'étranglement vient de ce qu'il y a peu de connectivité, notamment avec l'Afrique. La comparaison entre le trafic par câble Etats-Unis/Europe et celui avec l'Afrique (figure 5), donne une idée du problème. Une autre façon de considérer ce problème est de comparer la largeur de bande entre les Etats-Unis et l'Europe et celle entre l'Afrique et les Etats-Unis ou l'Europe, et l'on voit bien que cette dernière avec l'Afrique est vraiment une misère. En fait, dans beaucoup d'endroits en Afrique, si vous voulez télécharger un article du *Physical Review Letters*, c'est tout simplement presque impossible : vous

entrez sur le réseau et puis vous attendez et attendez. Le Maroc est peut-être une exception puisque cela n'arrive presque jamais.



Fig. 5 : Capacité de câbles sous-marin
Source : Submarine Cable Map@telegeography.com/maps

Je vois mal comment quiconque peut faire de la physique dans ces conditions. C'est pourquoi nous poussons beaucoup d'institutions à fournir une infrastructure pour la connexion Internet. De notre côté nous nous chargeons de fournir l'accès à la littérature technique et scientifique à travers des connexions avec les éditeurs et d'autres institutions, et nous fournissons également des cours de formation à l'utilisation de cette technologie par exemple.

Un autre aspect est la mesure quantitative de la vitesse de l'Internet en Afrique vers le reste du monde en fonction du temps depuis 1998 jusqu'à 2005 (figure 6, planche I). Ne vous occupez pas de la quantité précise avec laquelle est mesurée la vitesse de l'Internet - en fait elle est mesurée en envoyant une impulsion et en mesurant le temps qu'elle met à revenir. Sur la carte de gauche, vous avez les institutions où l'étude a été menée, dont deux, je crois, sont au Maroc. Vous voyez comment l'Amérique du Nord s'en sort ; l'Europe est passablement à la traîne ; mais où en est l'Afrique en général ? Il faut comprendre que cela n'inclut pas nécessairement tous les pays africains, dont j'ai ignoré certains. Comme vous le voyez sur la partie droite, la situation de l'Afrique est bien pire que dans le reste du monde. C'est pourquoi nous sommes engagés dans de tels projets relatifs à l'Internet, car ce sont des véhicules par lesquels on peut communiquer le savoir qui est essentiel.

Je dois dire qu'une partie du problème vient du contrôle gouvernemental dans un certain sens, et dans certains cas, cela vient aussi du coût d'une certaine quantité de connectivité d'Internet. Regardez par exemple le Nigeria : le problème n'y vient pas des réglementations gouvernementales ou d'autres restrictions mais du coût qui y est 100 fois plus élevé qu'aux Etats-Unis pour la même largeur de bande, ce qui rend extrêmement difficile l'établissement de telles connexions. Par conséquent, une des choses que nous faisons est d'essayer d'améliorer cette situation à travers différents projets. L'un d'entre eux est

de fournir des articles électroniquement à travers l'e-mail, mais c'est une affaire très compliquée.

Je terminerai par trois constatations.

La première est que nous essayons de rechercher des personnes qualifiées, indépendamment du pays d'où elles viennent et de l'importance internationale de leur institution. Je pense que cela est très important car même des institutions très pauvres dans des pays pauvres possèdent des éléments très qualifiés. Bien entendu, nous devons les identifier et c'est un gros travail qui ne se fait pas tout seul. C'est facile de détecter les meilleurs éléments de Harvard ou autre parce qu'en fait, ils sont tous très bons, mais détecter dans un pays émergent quelqu'un à qui il vaut la peine de consacrer du temps et des efforts demande un gros travail. C'est donc quelque chose d'important.

Ce que nous faisons aussi, ou essayons de faire en tout cas, c'est de détecter les scientifiques les plus brillants, sans tenir compte de la réputation de leur institution ni des objectifs scientifiques de leur pays, et de les mettre en position de construire leur propre activité dans leur propre pays. Quand cela finit par se produire, certains le font et s'impliquent dans la vie publique de leur pays, et nous les soutenons sur une période raisonnablement longue de l'ordre de dix ans. Il ne sert à rien de laisser quelqu'un venir à l'ICTP pour trois mois pour l'oublier ensuite. Rien ne se produit si l'on agit ainsi. Au contraire, il faut un contact soutenu pour ces personnes. Nous devrions être capables de faire plus mais malheureusement nous ne pouvons pas. Mais quoi que nous fassions, nous le faisons sur une longue période de temps, et la création de capacité signifie qu'à un moment, les personnes impliquées doivent faire quelque chose de substantiel avec leurs mains et leur esprit : elles ne peuvent se contenter de venir s'asseoir dans une salle de cours, d'opiner de la tête et de s'en aller. Elles doivent faire de la recherche, écrire quelque chose, c'est un point essentiel.

La deuxième constatation est que les institutions doivent être transparentes, et nous nous y efforçons. Si nous n'avons pas des institutions transparentes, les bons éléments ne peuvent pas faire grand-chose. C'est un autre aspect important et nous faisons beaucoup d'efforts avec diverses institutions. Les institutions doivent également avoir des sources stables de soutien - tout comme les individus -, je dirais libres d'interférences politiques. Nous ne pouvons pas grand-chose dans ce domaine - cela nous dépasse un peu - mais nous essayons quand même

d'aider les gens de diverses manières. C'est la raison pour laquelle l'ICTP s'engage auprès des politiques, des ministères et autres organismes, même si ce n'est pas directement notre travail.

Comme les individus, les institutions nouvelles ont besoin du soutien de personnes importantes et d'autres institutions. Le travail en réseau est donc essentiel, et nous en soutenons souvent la création, mais le travail en réseau ne peut remplacer un travail solide et l'effort individuel. Je le répète constamment : le travail en réseau, c'est très bien, mais pour y venir, il faut d'abord avoir de la substance.

Pour résumer, parmi les associés ICTP nous comptons un Président de la République, onze ministres, deux vice-ministres, deux membres de Parlement, sept conseillers de Présidents ou de Premiers Ministres, divers présidents d'universités, doyens de facultés et directeurs d'institutions.

Je conclurai sur la manière dont quelques personnes perçoivent l'ICTP, bien que ce soit évidemment sélectif. Par exemple Lorenza Matsuri de Milan dit en gros : «La contribution la plus importante de l'ICTP est le concept d'excellence, et l'ICTP a été l'institut le plus influent au monde pour faire naître ce concept». En d'autres termes, nous maintenons l'objectif de faire les choses vraiment bien : il y a une grande différence entre faire des choses et les faire bien. C'est une remarque que je fais constamment. Nous avons des commentaires similaires du Vietnam par exemple, qui dit : presque tous les physiciens PhD en Asie de l'Est ont été associés à l'ICTP. C'est aussi à peu près vrai de toute l'Afrique sub-saharienne en général.

Enfin, nous n'oublions pas que cela se passe en Italie, parce que, pour nous, il est très important d'être en relation avec nos voisins, et parce que les physiciens italiens ont beaucoup fait pour notre Centre, sans parler du soutien financier de l'Italie à l'ICTP. Je veux terminer cette présentation en citant ce que M. Andreotti, ministre des Affaires étrangères en 1984, disait de nous : «Ce Centre peut apporter une contribution efficace à la solution du problème central de l'humanité, à savoir celui de la paix. Bien sûr, cela est vrai de toutes les institutions internationales, du CERN et d'autres institutions, qui ne parlent pas tout le temps ou presque jamais de la paix mais qui, d'une manière ou d'une autre, par la façon dont elles travaillent, y contribuent.»

Voilà ce que je voulais dire sur l'ICTP.

Formation et évolution professionnelle des chercheurs¹

Georges Bingen

Commission européenne, Direction générale de la recherche

Mon exposé décrira les grandes lignes du contexte de l'Union européenne et comprendra en particulier une brève présentation

- des «Actions Marie Curie» ouvertes à la coopération avec des pays tiers,
- de la charte des chercheurs et du code associé.

La formation et l'évolution professionnelle des chercheurs sont essentielles dans la politique de recherche. Les actions de l'Union européenne comportent des actions de politique générale aussi bien que des moyens financiers.

Moyens financiers

(principalement les «Actions Marie Curie»)

- Il existe, depuis les années soixante, des bourses de formation de l'Union européenne, des mesures de transfert de connaissances ainsi que des mesures de promotion de l'excellence.
- 6^e plan-cadre (FP6) (2002-2006) : 1,8 milliard d'euro, c'est-à-dire environ 450 millions d'euro par an.
- Une proposition pour le 7^e plan-cadre (FP7) a été présentée avec le cahier des charges suivant : doublement du budget requis, poursuite de la philosophie générale et de la plupart des actions du 6^e plan-cadre, avec toutefois quelques extensions, parmi lesquelles, en particulier, un nouveau projet de coopération avec des pays tiers.

Actions de politique générale

Depuis 2000, le concept d'Espace européen de la recherche (ERA, European Research Area) fournit le cadre d'une approche intégrée englobant à la fois les actions communautaires, c'est-à-dire les programmes-cadres RTD, et la coordination des politiques de recherche de l'Union européenne et des Etats-membres.

Depuis 2002, les objectifs Lisbonne/Barcelone de l'Union européenne, la connaissance du pacte de croissance, reflètent les besoins en chercheurs (estimés à 700 000 chercheurs auxquels s'ajoutent les 500 000 chercheurs nécessaires au remplacement des chercheurs partant en retraite d'ici à 2010).

Ligne d'action 1 : stratégie de mobilité

Les chercheurs bénéficient d'expériences de mobilité de toutes sortes : mobilité internationale aussi bien que mobilité entre secteurs. Cette mobilité crée de l'expérience, du lien, du travail en réseau, des contacts de

recherche, et génère la coopération. Mais elle a besoin d'être encouragée.

Il existe des obstacles à la mobilité des chercheurs (légaux, administratifs, sociaux et pratiques). Les actions au niveau communautaire comportent :

- un réseau de 200 centres de mobilité pour fournir un soutien pratique aux chercheurs en mobilité ;
- le portail «Eracareers Mobility», un portail Web unique reliant tous les sites Web comportant des informations pour les chercheurs en mobilité, y compris des offres d'emploi ;
- la directive de l'Union européenne sur les visas, destinée à faciliter les conditions d'entrée aux chercheurs non communautaires ; les recommandations aux Etats-membres pour accélérer la délivrance de visa pour les courts séjours ; etc.

Ligne d'action 2 : politique de développement

L'Europe a besoin de plus de chercheurs, et de chercheurs hautement qualifiés, mais les carrières de recherche sont peu attractives en comparaison d'autres carrières en Europe, et aux Etats-Unis par exemple. Les meilleurs «cerveaux» ont donc tendance à quitter l'Europe. Des actions ont toutefois été entreprises au niveau communautaire pour assurer le recrutement et le maintien des chercheurs dans l'Espace européen de la recherche :

- sensibilisation du public (y compris les responsables politiques), par exemple l'initiative «Chercheurs en Europe» (Researchers in Europe Initiative) ;
- reconnaissance des droits et obligations des chercheurs, et engagement des organismes de recherche (employeurs) et des financeurs à respecter et soutenir les carrières de recherche : charte des chercheurs européens et code de conduite pour le recrutement des chercheurs. Ces deux instruments sont une recommandation de la Commission européenne aux Etats-membres, employeurs, financeurs et chercheurs. Ils sont le fruit d'une consultation élargie de la communauté scientifique, et reflètent un large consensus sur les principes énoncés. Leur mise en œuvre repose sur le volontariat. La charte et le code constituent une référence pour la gestion de carrière des chercheurs avec pour objectif d'assurer un environnement de recherche et des conditions de travail positifs. Ils devront créer un véritable marché du travail européen pour les chercheurs : attractif, ouvert, durable.

¹ Traduction du texte original en anglais.

Evaluation. Des critères pour l'excellence¹

Jean-Pierre Bourguignon

CNRS - Institut des hautes études scientifiques

Je vous remercie pour votre invitation à présenter cet exposé. Je commencerais, si vous le voulez bien, par quelques points de référence, pour suggérer qu'un certain nombre des opinions que je vais émettre sont probablement influencées par mon expérience professionnelle personnelle.

Quelques points de référence

Je suis mathématicien de profession. Je travaille donc dans une science théorique située à l'une des extrémités du spectre scientifique. Le CNRS est mon institution de référence depuis déjà 37 ans, mais plusieurs fois dans ma vie, j'ai fait des séjours d'un an dans différents pays étrangers : États-Unis, Allemagne, et des séjours prolongés au Japon, en Chine et dans d'autres pays européens. J'enseigne aussi dans un établissement d'enseignement supérieur d'un type très particulier, à savoir l'École polytechnique à Palaiseau, qui est en fait une école d'ingénieurs. J'y ai été détaché pendant huit ans.

Depuis ma nomination comme directeur d'une fondation privée, l'Institut des hautes études scientifiques (IHES), je suis en charge d'une petite entreprise qui est une structure très spécifique et complètement internationale : l'an dernier l'Institut a accueilli des visiteurs de 32 pays, et, sur les dix dernières années, des visiteurs issus de 54 pays sont venus à l'IHES. La vie y est organisée de façon à faciliter les contacts entre scientifiques de différentes disciplines qui y séjournent. Donc, même si je suis un mathématicien, j'ai l'habitude de traiter avec des physiciens, et plus récemment avec des biologistes car l'Institut a démarré une nouvelle activité en biologie moléculaire.

Au cours de ma carrière, j'ai participé à plusieurs évaluations d'envergure en tant que mathématicien, mais parfois aussi avec un spectre plus large. J'ai notamment pris part, plusieurs fois ces dernières années, à l'évaluation de ma discipline au niveau d'un pays entier, ce qui a été pour moi une expérience très enrichissante et stimulante. C'est ainsi que j'ai participé à l'évaluation des mathématiques au Canada, au Portugal, au Royaume-Uni, en Autriche, et je vais faire une évaluation pour l'Australie en février 2006. Cet exercice est assez particulier : il s'agit d'essayer de donner des éléments à un gouvernement ou à une agence lui permettant de se faire une idée

sur la situation de la discipline dans le pays, les problèmes auxquels elle doit faire face et les mesures de nature à stimuler son développement.

Il est connu que les mathématiciens ont tendance à être élitistes. Je n'ai probablement pas échappé à cette influence, et certains des propos que je vais tenir tendent à l'élitisme mais je crois que ce caractère est moins dangereux que son inverse, le laxisme.

En tant que mathématicien, je suis aussi très sensible au fait que les disciplines fonctionnent de manières différentes, et que cette diversité a besoin d'être reconnue. C'est quelque chose qu'on oublie souvent. De ce point de vue je suis très critique vis-à-vis des procédures mises en place par la Commission européenne, qui a tendance à uniformiser les règles pour toutes les disciplines, ce qui a, à mon avis, des effets désastreux. Je reviendrai sur ce point plus tard.

Notez que l'évaluation peut recouvrir des niveaux très différents. Le premier niveau concerne les individus, le second, les laboratoires ou les instituts, et le dernier niveau, une discipline à l'échelle d'un pays. Je crois vraiment que, même si nous utilisons le même mot pour ces différentes activités, à savoir «évaluation», la méthodologie, la manière dont on peut utiliser l'information et tirer profit de ce que l'exercice apporte, sont extrêmement différentes de beaucoup de points de vue, et par conséquent il vaut mieux être prudent dans la transposition de l'information qu'on tire d'un niveau à l'autre.

Un autre point, je crois, au cœur du problème de l'évaluation est le fait que, d'une certaine manière, la science, et notamment la recherche scientifique, sont des domaines dans lesquels la quête de l'excellence est un des moteurs déterminants pour faire fonctionner le système. Donc, si l'on évolue dans un système où la recherche de l'excellence est reconnue comme légitime, cela influera de manière considérable sur la façon dont tout le système réagira. C'est une réalité dont j'ai été témoin, et un exemple typique est celui du Portugal. Lorsque le Portugal a rejoint l'Union européenne, la situation, du moins dans ma discipline, les mathématiques, n'était pas extraordinaire. Il y avait quelques bons laboratoires mais en général le niveau était très traditionnel. Le ministre en place

¹ Texte original en français.

à l'époque, qui occupe à nouveau ce poste aujourd'hui, a demandé à un groupe de personnes toutes non portugaises d'évaluer la situation du Portugal. Je peux dire qu'en dix ans, la situation de la recherche mathématique dans ce pays a changé de façon spectaculaire. Toute la question était ici d'introduire un regard complètement extérieur pour s'abstraire des divers pouvoirs locaux, et pour cela de laisser des personnes indépendantes observer la situation et faire des propositions de changement. Je suis donc convaincu que si l'on prend au sérieux les exigences d'une recherche de l'excellence, on peut avoir un impact considérable sur la façon dont la recherche fonctionne.

Une autre manière d'exprimer ce que je viens de dire concernant la manière d'aller vers l'excellence est que, si on laisse l'évaluation entre les mains d'amis des différents groupes de pression locaux, l'impact de l'évaluation peut être extrêmement négatif. Il est donc crucial que le choix des évaluateurs soit fondé uniquement sur leur niveau de compétence, sur le respect de quelques règles d'indépendance et l'assurance que les personnes peuvent vraiment s'exprimer librement.

Conditions d'une évaluation réussie

J'en arrive à ce qui me paraît être une autre condition essentielle pour réussir l'évaluation. Comme je l'ai déjà dit, la recherche se fait de façon très différente selon qu'on est théoricien ou expérimentateur. Il est donc indispensable de tenir compte des différences de pratique entre disciplines et aussi des divers types d'organisation de la recherche. Il reste cependant à examiner si le mode d'organisation mis en place par une communauté de chercheurs l'a été pour de bonnes ou de mauvaises raisons. Un autre point concerne les échelles de temps qui varient d'une discipline à l'autre : si l'on projette un accélérateur comme au CERN, l'échelle de temps est de l'ordre de 20 ans ; pour d'autres disciplines, une réaction beaucoup plus rapide est nécessaire. Dans l'industrie aussi, très souvent les gens savent qu'on attend d'eux de faire aboutir un projet très rapidement. Toutes ces différences ont à être prises en compte, ce qui veut dire que la manière de mettre en œuvre l'évaluation doit les respecter.

Un dernier point, qui est une sorte d'évidence : les différences entre disciplines concernent aussi les signes de reconnaissance. Les mathématiciens, par exemple, ont tendance à être spontanément internationaux, et il est tout à fait inhabituel dans ma discipline qu'il y ait des écoles nationales, bien que parfois se développent des manières très typées de voir les problèmes autour d'une forte personnalité ou dans un institut donné. Sans aucun doute il est important d'être aussi attentif aux différentes façons d'exprimer la reconnaissance.

Un autre fait que j'ai appris à reconnaître, et qui m'avait échappé quelque temps - simplement parce que

je faisais confiance aux mots, ce qui était une erreur de ma part -, est que, très souvent, la fonction qu'on attribue à une personne sous un titre bien défini varie d'une discipline à l'autre : prenez le cas d'un post-doc (stagiaire post-doctorant). En mathématiques, en général, on peut confier le démarrage d'une nouvelle activité dans un laboratoire à un post-doc car on attend de lui qu'il arrive avec un programme de recherche personnel, qui puisse se développer en une nouvelle activité dans un laboratoire. Qu'en est-il dans d'autres disciplines ? J'ai pris conscience de l'ampleur du divorce dans les conditions suivantes : pendant longtemps dans le système français il n'y avait pour ainsi dire pas de programme de soutien pour les post-docs. Seul existait un tout petit programme, qu'on avait pris l'habitude d'appeler les «bourses Brézin» (car le comité qui les attribuait était présidé par Édouard Brézin), et qui était mis en œuvre par le ministère des Affaires étrangères. Un jour on m'a demandé d'évaluer ce programme. En étudiant les fiches des candidats sur plusieurs années, j'ai été très surpris de constater que les lettres de recommandation pour des post-docs étaient de nature très différente en biologie et en mathématiques ou informatique par exemple : dans l'ensemble, les lettres recommandant des post-docs en biologie décrivaient les différentes techniques que la personne maîtrisait et ne disaient pas un mot des idées nouvelles contenues dans sa thèse ; en mathématiques, c'était le contraire, à savoir que les lettres décrivaient en quoi consistaient les idées nouvelles introduites par la personne. Ces écarts correspondaient au fait que des communautés de chercheurs différentes n'attendaient pas la même chose des post-docs dans le laboratoire qui allait les embaucher : un même titre, à savoir post-doc, peut donc, d'une discipline à l'autre, ne pas avoir le même sens.

Je veux faire encore quelques remarques. Comme je l'ai dit, choisir les évaluateurs est un exercice délicat, mais les conditions de travail qui leur sont faites ont également leur importance. Par conditions de travail, j'entends par exemple : les évaluateurs vont-ils avoir la possibilité de définir le type de documents que vous allez leur donner ou est-ce vous qui déciderez à priori que vous leur donnerez telle liste de documents et rien d'autre ? Je pense que, pour des évaluations d'une certaine ampleur, il est utile que quelques évaluateurs - peut-être pas tout le groupe mais au moins le président du groupe par exemple - soient associés à la définition des documents mis à disposition. De même, je crois qu'une condition d'une évaluation efficace est que le programme de visite ne soit pas décidé uniquement par les évalués mais associe les évaluateurs. Donner aux évaluateurs une maîtrise sur la méthodologie qu'ils veulent utiliser, et les gens avec lesquels ils veulent travailler, s'est révélé, dans plusieurs expériences que j'ai eues, un atout décisif pour la réussite. Personnellement, j'ai toujours été très insistant sur le fait de pouvoir rencontrer les jeunes chercheurs hors de la présence de ceux qui les supervisent et de passer suffisamment de temps

avec eux. Quelquefois cela ne plaît pas à certains responsables, mais je pense qu'il est important de donner à ces jeunes gens la possibilité de s'exprimer librement.

En conclusion, je crois qu'une attention suffisante est à accorder aux conditions dans lesquelles l'évaluation est conduite car elles peuvent changer complètement la façon dont l'évaluation se passe.

Le point suivant est également à considérer. Dans beaucoup d'organisations, l'évaluation fait partie du système mais, selon la manière dont elle est mise en œuvre, elle peut devenir un obstacle au développement. Je donne un exemple impliquant l'évaluation de personnes. Un moment type où l'évaluation intervient presque toujours est celui de la promotion à un grade supérieur. Je prends comme exemple ce qui a pu être observé dans le cadre du CNRS : si les promotions sont très difficiles à obtenir et si les chercheurs attendent des années pour être promus par manque de postes, le barrage qui se construit ainsi devient un obstacle à promouvoir l'interdisciplinarité. En effet beaucoup de chercheurs développent le sentiment que, s'ils changent de sujet, ils ruinent leurs chances de promotion car ils diminuent la possibilité pour les évaluateurs d'avoir des points de repère en ce qui les concerne. Il convient aussi de prendre garde à ce que l'évaluation, par sa mise en œuvre, ne devienne un obstacle au lieu d'être une incitation à évoluer.

Je donne maintenant un exemple plus global, celui du Royaume-Uni, qui a développé ce que beaucoup de gens ont considéré comme un progrès significatif, le Research Assessment Exercise (mission d'évaluation de la recherche). Globalement, un comité national attribue des notes à tous les laboratoires, notes qui déterminent le niveau de base du financement obtenu. Mais en fait la manière dont cette évaluation est pilotée donne à l'université la responsabilité de défendre un laboratoire donné. Le résultat est que si l'équipe de recherche est vraiment organisée sous forme d'actions coordonnées entre des petits groupes présents dans plusieurs universités, ces groupes sont trop petits pour être considérés de poids suffisant pour être pris en compte dans chaque université ; par conséquent, même s'ils sont remarquablement performants en tant que groupes, en fin de compte le financement de leur activité est totalement abandonné. Un tel effet a pu être observé lors de l'évaluation globale de la recherche mathématique au Royaume-Uni : un certain nombre de réseaux qui produisaient des travaux de recherche remarquables étaient en train de disparaître complètement, uniquement parce que la grille d'évaluation mise en place les avait rendus invisibles dans toutes les universités où ils se trouvaient. Donc clairement, la mise en place d'un tel système, à priori bon parce qu'il comporte une évaluation très approfondie, peut conduire à condamner certaines activités de recherche, ce qui n'était bien évidemment pas l'intention des personnes qui l'ont mis en œuvre, mais ces biais doivent être identifiés avant qu'il ne soit trop tard.

Une autre point déjà mentionné et particulièrement sensible est le fait que certaines structures, comme la Commission européenne, mettent en place délibérément des systèmes uniformes de candidature ou d'évaluation pour tous les programmes. Au moins du point de vue des mathématiques, je considère que la situation ne fait qu'empirer dans le sens où il est devenu pratiquement impossible de faire prendre en compte correctement un certain nombre d'activités : la forme même des formulaires à remplir empêche d'indiquer de quelque manière que ce soit ce qui compte vraiment. Le résultat est qu'on se trouve dans l'impossibilité de présenter ses arguments correctement. Donc quand on prépare une évaluation, il est indispensable de connaître la discipline qui va être évaluée et de respecter ses spécificités.

L'évaluation individuelle

Comme je l'ai déjà souligné, il importe de bien distinguer les différents niveaux de l'évaluation : individus, laboratoires ou instituts, et disciplines au niveau national ou même européen, ce pour plusieurs raisons.

L'évaluation des chercheurs est bien sûr quelque chose de tout à fait naturel, et elle est pratiquée par la communauté scientifique de diverses manières. Quand un chercheur soumet un article à un journal, il est évalué puisqu'il y a un comité de rédaction et des référés qui l'examinent. Presque toutes les universités ou instituts ont un système où la thèse n'est pas simplement lue par le patron de thèse mais aussi par des personnes extérieures compétentes. Ils pratiquent aussi le recours systématique à des arbitrages extérieurs pour décider des promotions. Donc, dans un certain sens, la pratique de l'évaluation individuelle est déjà en place et bien acceptée.

Un point-clé pour garantir la qualité d'une évaluation est de s'assurer de l'indépendance des personnes qui rendent un avis. Il est en fait très difficile, à un certain stade, d'éviter que ceux qui émettent les avis aient des relations avec les personnes évaluées. Ce point est extrêmement critique : ainsi, si, en France, on considère l'éventail des disciplines, l'attitude des différentes communautés envers l'auto-recrutement est assez variable. L'embauche de personnes formées sur place peut atteindre jusqu'à 85 % pour une discipline que je ne nommerai pas, tandis qu'elle se situe à seulement 16 % pour les mathématiques. Ce qui montre qu'il existe une grande variété de pratiques entre ces deux extrêmes. Je pense personnellement que, sur le long terme, cela fait une énorme différence : dans un système où l'auto-recrutement est une pratique banale, si vous voulez arrêter pour faire une exception, vous vous retrouvez dans une situation très difficile, il y a un grand risque que les personnes que vous avez formées ne soient prises nulle part. Il s'agit donc de prendre des mesures très volontaires et les main-

tenir sur une durée assez longue pour réussir ce changement de mentalité. C'est ce qui s'est fait au Portugal, où le ministère a été extrêmement strict sur ce point. A l'échelle de 10 ans, c'est un remarquable succès, mais cela suppose d'être très ferme à un certain moment et de disposer de mesures d'incitation fortes pour ceux qui ne veulent pas pratiquer l'auto-recrutement (ou de mesures de rétorsion pour les autres).

Il est important d'identifier les personnes compétentes pour faire l'évaluation et de leur offrir réellement la possibilité de donner leur avis. C'est pourtant quelque chose que tous les systèmes au monde sont tentés d'éviter. En effet on préfère souvent utiliser un système automatique d'évaluation parce que la confiance dans les opinions des personnes paraît très fragile et aussi très difficile à obtenir : celles-ci peuvent changer d'avis, les opinions qu'elles expriment sont parfois un peu ambiguës. On préfère donc utiliser des facteurs d'impact obtenus par des procédures automatiques ou d'autres systèmes de ce genre. En ce qui concerne les mathématiques, je trouve les conséquences d'un tel choix dramatiques. Mon opinion sur les facteurs d'impact est que, pratiquement, on ne peut les utiliser utilement que lorsqu'on en sait assez sur la situation à évaluer pour s'en passer ! L'utilisation de tels systèmes requiert une grande prudence. Je parle ici d'évaluation individuelle. Il en va différemment quand on veut évaluer la valeur d'une activité au niveau, par exemple, d'un pays, voire au niveau d'un institut, mais, même là, je pense que la prudence s'impose. Ma position personnelle est de refuser de prendre en considération ces facteurs pour l'évaluation individuelle. Ceci ne veut pas dire qu'il ne faille pas regarder les publications des personnes évaluées : le point-clé n'est pas ici le nombre de publications mais leur qualité, et qui peut estimer la qualité sinon des personnes compétentes ? De plus la situation en matière de publications est très diverse : ainsi, parmi les mathématiciens les plus célèbres (et à juste titre), certains ont extrêmement peu publié, d'autres l'ont fait beaucoup. Ce qui fait la différence, c'est évidemment la qualité de ce qu'ils ont fait et pas le nombre de leurs articles. L'utilisation des facteurs d'impact a d'autres conséquences négatives : ils poussent les chercheurs à publier beaucoup, et donc des articles en partie non aboutis. A un certain stade, il est très important de laisser suffisamment de temps aux chercheurs pour qu'ils fassent un travail ambitieux. Et alors ils ont besoin de temps pour produire quelque chose de substantiel.

Mon dernier point concerne les jeunes chercheurs. Ils méritent d'être considérés d'une manière spéciale parce qu'il est primordial qu'ils apprennent à se montrer ambitieux et à prendre des risques. S'ils ne l'apprennent pas assez jeunes, ils ne le feront sûrement pas plus tard ; ils seront plutôt tentés de se contenter de s'engager dans des travaux techniques, ce qui est bien, mais ils auraient pu faire mieux et une occasion aura été ratée.

Il convient en effet de prendre garde aux conséquences du système d'embauche sur la qualité de la recherche. De mon point de vue, il est vital que les jeunes gens, notamment en période post-doctorale, puissent bénéficier de suffisamment de temps. Les emplois de chercheurs post-doctoraux d'une seule année sont, de ce point de vue, problématiques sauf dans ces conditions spécifiques. En effet, sitôt le poste obtenu, il est temps de se mettre en quête du suivant. Dans ces conditions, comment produire quelque chose de significatif en si peu de temps ? Je ne le sais que trop car l'institution dont j'ai la charge a beaucoup de peine à prendre des engagements de longue durée.

L'évaluation des structures

En ce qui concerne l'évaluation des structures de recherche, je veux insister à nouveau sur la nécessité de laisser assez de place à l'appréciation des différentes échelles, et des différents types de recherche qui sont faites. On sait très bien que, dans beaucoup de disciplines, le financement par projet est devenu le cœur du financement de la recherche. Et il y a de bonnes raisons pour cela. D'un autre côté, si ce mode de financement devient le mode essentiel de distribution de l'argent reçu par les laboratoires, en particulier si ce financement est fourni pour des projets à court terme, cela peut mettre l'institution en mauvaise position pour préparer son avenir, et forcer ses chercheurs à ne s'intéresser qu'à des programmes de recherche à court terme.

Il revient aux institutions de trouver un équilibre entre des engagements sur le long terme qu'elles vont tenir et ainsi pouvoir vraiment réfléchir sans trop de pression à ce qu'elles veulent faire, et une autre part de leur activité plus directement liée à des projets.

L'évaluation des structures comporte trois parties : la première est la période de préparation où les évalués sont simplement entre eux car les évaluateurs ne sont pas encore arrivés ; tout au plus ont-ils participé à la définition des documents qu'ils souhaiteraient recevoir ; c'est aussi le moment où les membres de la structure de recherche sont confrontés au problème de définir ce que sera leur programme de recherche pour le futur. Cette étape ne doit donc pas être occultée. La phase de préparation des documents pour les évaluateurs est un moment privilégié car il force à la discussion interne : où les gens en sont, ce que seront leurs priorités, s'ils seront ambitieux, un peu ambitieux ou pas du tout, etc. Cette phase étant un moment important, il convient de laisser aux chercheurs le temps nécessaire pour mener cette réflexion jusqu'au bout. La deuxième partie est bien évidemment le temps de l'évaluation elle-même, où les évaluateurs et les personnes évaluées sont confrontées. La dernière partie qui, elle non plus, ne doit pas être occultée, est le moment

où les évaluateurs donnent leur avis, et où les évalués décident d'appliquer certaines recommandations ou non, c'est-à-dire l'interaction finale où l'institution elle-même répond à l'évaluation.

Pour les structures de recherche, j'ai tendance à être aussi critique vis-à-vis de l'utilisation systématique des facteurs d'impact parce que, souvent, l'impression quantitative qu'on tire de ces données supplante rapidement ce qui devrait, pour moi, dominer, à savoir la qualité et le bilan qualitatif.

L'évaluation des disciplines

Pour en venir au dernier niveau d'évaluation, qui concerne globalement une discipline dans une région ou un pays, il me semble que là aussi, la prudence s'impose.

Qu'est-ce qu'une discipline ? Les universités reconnaissent quelques disciplines en raison de leur histoire, mais il y a également des disciplines émergentes. A un certain stade, on doit accepter l'idée que de nouvelles disciplines vont apparaître, qu'à un moment critique, une nouvelle science va surgir par la mise en contact de plusieurs disciplines ou problématiques, etc. C'est une question qui préoccupe beaucoup l'EPSRC (Engineering and Physical Science Research Council) au Royaume-Uni. Ils ont décidé de faire une évaluation très systématique de leurs disciplines, et quand ils ont eu terminé la première série d'évaluations, ils se sont rendu compte qu'en divisant la science en physique, chimie, informatique, mathématiques, ils avaient en fait occulté une part significative de leurs activités. Evidemment ils ont constaté que les experts chargés de certaines disciplines n'avaient pas examiné d'assez près leurs frontières, ce qui n'est en fait pas si facile. Pour la partie dont j'étais chargé, à savoir les mathématiques, quand nous avons voulu voir la frontière avec l'informatique, nous nous sommes rendu compte qu'une partie des universités étaient d'accord pour le faire mais que d'autres refusaient parce qu'elles avaient déjà été évaluées pour l'informatique et qu'elles ne voulaient pas être évaluées deux fois. Donc, quand on définit un

territoire, il vaut mieux être attentif à ne pas manquer un territoire important juste à côté.

Un autre point également important : ne pas abuser de l'évaluation ! En effet, si vous demandez trop souvent aux chercheurs de rédiger des rapports, ils commencent à les bâcler et c'est pire que de ne pas avoir de rapports.

J'ai déjà indiqué combien il est utile que les évaluateurs soient impliqués au moment où est définie la manière dont sera faite l'évaluation. Il est essentiel de leur laisser cette autonomie intellectuelle. Je pense que, pour des évaluations à l'échelle d'un pays, le meilleur moyen est de ne pas impliquer de nationaux dans l'équipe d'évaluateurs. Cela a été le cas pour le Portugal, le Royaume-Uni, et l'Autriche, et je suis actuellement en discussion avec les collègues australiens parce que, dans le format proposé, les nationaux sont en position nettement dominante dans le comité.

Conclusion

Le point-clé est donc de satisfaire les exigences développées dans cet exposé sans trop frustrer les évalués. De ce point de vue, la manière dont on fait le suivi n'est pas anodine.

Je veux faire observer qu'être impliqué dans une évaluation est un excellent moyen de créer une sorte de culture commune, et des références communes. Dans ce processus, on veillera à ce que plusieurs points de vue puissent s'exprimer. Cela peut réellement préparer un groupe de scientifiques à envisager d'autres manières d'organiser la recherche. En disant cela, je pense notamment aux Français qui croient que la manière française d'organiser la recherche est la meilleure au monde, et qui ne regardent jamais comment elle est organisée ailleurs !

Le point final vise les scientifiques dans leur ensemble : ils ne doivent pas oublier qu'ils effectuent leur travail en relation avec la société et qu'elle les finance. L'évaluation devrait être pour eux aussi un moment pour se préparer à cette relation à la société dans son ensemble.

Les études et les carrières scientifiques au féminin en Tunisie¹

Oum Kalthoum Ben Hassine

Professeur à la faculté des sciences de Tunis, présidente de l'Association «Femme et Sciences»

A présent, il est largement admis que le plein accès des femmes à l'éducation leur confère le statut d'agents de changement économique et social. En effet, l'éducation est un droit humain indispensable au progrès dans tous les domaines. C'est pour cette raison que le programme d'action, adopté à Beijing en 1995 lors de la quatrième conférence mondiale sur les femmes, a identifié l'accès universel et égal des femmes à l'éducation et à la formation comme un domaine critique requérant une action prioritaire des gouvernements et de la communauté internationale. C'est ainsi qu'aujourd'hui, certains critères, tels que les taux d'alphabétisation et de scolarisation selon le genre, constituent des indicateurs du développement humain car l'éducation est un préalable pour le développement durable qui ne peut se faire sans la participation entière et égale des femmes. Pour assurer leur avenir, les pays ont, en effet, besoin de toutes les compétences et de toutes les créativité. Ceci est encore plus vrai quand il s'agit d'accès aux sciences et à la technologie qui sont productrices de richesses et, de ce fait, indispensables au développement. Le développement économique est en fait conditionné par l'appropriation et la maîtrise du savoir scientifique et technologique. Ce dernier représente la clef de la réussite à une époque où la compétition entre les nations est basée sur l'intelligence. Dans ce contexte, la pleine participation des femmes et la parité en sciences permettent d'une part, une augmentation du potentiel scientifique humain des pays et, d'autre part, une plus grande diversité dans l'élaboration du savoir scientifique et la formulation de nouvelles normes éthiques sur la science et les technologies.

Toutefois, l'accès aux sciences est conditionné par le droit à l'éducation. Pour la femme tunisienne, ce droit a été acquis en 1956 lorsque l'une des premières mesures de la Tunisie indépendante fut la promulgation du code du statut personnel. Parmi ces mesures, l'instauration d'une scolarisation gratuite et obligatoire a permis la réalisation de progrès significatifs au niveau de l'accès des filles à tous les cycles de l'enseignement y compris universitaire dont les résultats quantitatifs sont aujourd'hui incontestables. La Tunisie se distingue en effet des pays arabo-musulmans par le statut juridique de la femme et l'intégration de celle-ci dans l'économie et la société.

Ainsi, l'examen des statistiques récentes relatives aux pourcentages des étudiants, selon le genre, révèle que ce sont en fait les femmes qui assurent, au cours des dernières années, la croissance de la population universitaire globale puisque certaines facultés (médecine, droit) et

plusieurs filières (médecine, sciences biologiques) se sont fortement féminisées. L'amélioration des taux de scolarisation s'est, en effet, accompagnée d'une réduction progressive de l'écart entre les filles et les garçons au profit des filles à tel point qu'on assiste actuellement à une féminisation de l'université où les filles représentent environ 57 % des effectifs des étudiants.

Comparées à leurs consœurs des pays de la rive de la Méditerranée où la scolarisation des filles est un fait relativement ancien, les filles tunisiennes ont, depuis leur accès à l'instruction, largement rattrapé leur retard. Elles sont aujourd'hui plus nombreuses au lycée et à l'université, globalement meilleures élèves et plus persévérantes dans leurs études. A titre de comparaison, en France, les étudiantes constituent environ 56 % de l'effectif total des étudiants. Cependant, malgré cette percée considérable, les filles hésitent encore, aussi bien en Tunisie que dans la plupart des pays y compris les pays développés, à s'engager dans des filières scientifiques et technologiques. Leur orientation vers la filière littéraire demeure encore prépondérante.

En effet, il ressort de l'ensemble de l'analyse des données statistiques récentes (2000-2004) qu'en Tunisie la présence des femmes dans les filières scientifiques s'est incontestablement améliorée ces dernières années. Plus de jeunes filles étudient donc les sciences. Toutefois, leur nombre varie considérablement d'une filière à l'autre, les pourcentages les plus élevés étant enregistrés en sciences expérimentales dans l'enseignement secondaire, et en médecine et en sciences de la vie dans l'enseignement supérieur [2].

Cette orientation déséquilibrée est, pour une bonne part, déterminée dès l'école secondaire, où mathématiques et sciences jouent un rôle de sélection et où l'orientation des filles, minoritaires dans les séries de baccalauréats les plus valorisées, limite les choix d'études et de carrière [8]. Ceci a un impact sur l'orientation des étudiantes dans l'enseignement supérieur où l'on retrouve la même tendance et où les filles sont sous-représentées dans certaines filières techniques et scientifiques (sciences de l'ingénieur, physique, mathématiques, etc.). En effet, même celles, nombreuses, qui s'orientent au lycée vers la filière de sciences expérimentales, vont ensuite étudier les sciences médicales et les sciences de la vie (les

¹ Texte original en français.

étudiantes représentent plus de 60 % des effectifs totaux des étudiants en sciences médicales et biologiques).

Cette situation n'est pas spécifique à la Tunisie (où la généralisation de l'instruction des filles et leur accès à des études supérieures sont des faits relativement récents et nouveaux), car l'intégration des femmes dans les sciences relève d'une condition largement partagée y compris avec les pays développés où, malgré une scolarisation et un accès à l'université des filles fort anciens, l'ouverture de l'enseignement scientifique au public féminin est une conquête récente [10].

Ainsi, en France les filles sont, comme en Tunisie, en plus grande proportion dans les différents cycles de l'enseignement (les filles représentent plus de 56 % de l'effectif total des étudiants en France), obtiennent des meilleurs résultats que les garçons, mais leurs orientations ne traduisent pas leurs capacités car la majorité des filles s'orientent vers les lettres et les sciences humaines (72,7 %) et celles qui s'engagent en sciences se retrouvent dans les filières des sciences de la vie et de la santé (61,7 % en médecine), jugées très convenables pour elles [10], les femmes semblant aspirer à aider, soigner, s'occuper des autres ou encore enseigner, informer et communiquer... bref des considérations qui se déclinent au féminin.

Le problème des disparités entre les hommes et les femmes dans les sciences se pose donc dans tous les pays. D'une manière générale, les filles s'orientent moins que les garçons vers certaines filières scientifiques et techniques et délaissent des formations qui donnent un meilleur accès au marché du travail comme les formations techniques, l'informatique ou l'ingénierie dont le recrutement est pourtant considéré comme un «enjeu sensible» pour le développement [13].

D'après certaines études et enquêtes réalisées notamment au Nord [11], la répartition inégale des filles dans les diverses filières scientifiques serait en relation avec leurs motivations et l'image qu'elles se font des métiers et qui seraient différentes de celles des garçons. En effet, les garçons sont plus sensibles aux débouchés, aux rémunérations escomptées et au prestige. Quant aux filles, elles recherchent davantage l'utilité sociale. En outre, les élèves ont souvent une image forte des filières à finalités plus «professionnelles», associées à des métiers (ingénieur, médecin, avocat, journaliste) qui leur paraissent bien identifiés, et qui provoquent souvent soit une forte adhésion (médecin pour les filles), soit un fort rejet (ingénieur pour les filles). En revanche, pour les filières plus «généralistes», comme les sciences et les lettres, l'image semble plus floue, ou encore plus stéréotypée ; les débouchés apparaissent à la fois peu nombreux, peu rémunérateurs, peu variés, et essentiellement tournés vers l'enseignement pour les lettres, et vers la recherche pour les sciences. Enfin, il faut souligner une revendication, plus fréquente chez les filles, d'une vie professionnelle compatible avec la vie de famille, ce qui est ressenti comme particulièrement difficile dans les métiers d'ingénieur et de chercheur.

Les conséquences de cet état de fait peuvent être résumées par :

- une faible diversification des carrières scientifiques féminines,
- la concentration des femmes dans un nombre limité de métiers scientifiques,
- un taux de chômage élevé des jeunes primo-demandeuses d'emploi qui trouvent les secteurs où leur qualification leur permettent de s'insérer déjà saturés.

Ainsi, en Tunisie où la législation tunisienne est en faveur de la parité homme-femme sur tous les plans, et d'avant-garde par rapport à beaucoup de pays, et où les conventions collectives de travail réservent le même traitement aux deux sexes, l'analyse des études publiées, essentiellement par le CREDIF, sur la question de l'emploi des femmes ont révélé que celles-ci détiennent une position inégale par rapport aux hommes sur le marché du travail, la principale cause de cet état de fait étant le manque de diversification de la formation et de la qualification professionnelle des femmes [4].

Cette situation, comme le souligne la Commission européenne, n'est **ni équitable**, car les femmes se trouvent écartées d'emplois considérés comme «porteurs» en termes de rémunérations, de prestige ou de responsabilités sociales - **ni efficace**, car elle prive nos sociétés d'une partie de leurs ressources intellectuelles, **ni efficiente**, car fournir à beaucoup de femmes une formation de haut niveau et ne pas utiliser leurs compétences est un gaspillage social.

A cela s'ajoute le fait que les femmes sont absentes des sphères du pouvoir et ont de ce fait peu d'influence sur le choix des politiques scientifiques qui déterminent les grandes orientations des Etats.

Or, aujourd'hui plus que jamais, le développement durable est conditionné par l'équité dans les sciences. Cette dernière ne sera cependant instaurée que lorsqu'on mettra à profit les talents conjugués des hommes et des femmes. Dans ce contexte, les similitudes relevées entre la France et la Tunisie concernant la place des femmes dans les sciences, doivent constituer un argument important pour construire en Méditerranée un véritable partenariat égalitaire, rénové et renforcé. En effet, l'avenir commun de cette région passe par une coopération qui encourage les évolutions favorables à l'égalité des chances [3].

A l'heure où l'on prône «partenariat et échange commerciaux», il faut d'abord coopérer pour qu'aucune rive n'exclue ses femmes. Pour cela, la constitution d'un groupe méditerranéen compétent en matière d'égalité dans la science, à l'instar du groupe d'Helsinki pour l'Europe, peut constituer le lien le plus important entre les deux rives nord et sud de la Méditerranée.

Ainsi, le développement sur le pourtour de la Méditerranée de programmes de coopération, assurant la promotion de l'égalité entre les hommes et les femmes par l'échange d'expériences positives Nord/Sud et Sud/Nord

et de bonnes pratiques, peuvent, comme l'a si bien dit Edgar Morin, empêcher l'Europe de se refermer sur elle-même [3].

Bibliographie

- 1 Association Femmes et Sciences, *Femmes dans les métiers scientifiques et techniques*, Actes du Colloque (Ministère de la Recherche, Paris, 17 novembre 2001), 2001.
- 2 BEN HASSINE O.K., Femmes en sciences : obstacles, défis et enjeux, *Revue tunisienne des sciences sociales*, Publ. du CERES, 1999, 118,11-26.
- 3 Ben Hassine O.K., *La place de la femme tunisienne dans les sciences : analyse de la situation actuelle et perspectives de développement*, Afkaronline Edit., 2004, 81-101 ; et sur le site : www.afkaronline.org.
- 4 BEN HASSINE, Femmes, Education, Sciences et Culture, in *Proceedings of the Mediterranean Forum Conference «Women, Agents of Change, A Mediterranean Perspective»*, (Lugano, Suisse, 13-15 février 2004), 2004.
- 5 BEN HASSINE O.K., *Participation des femmes tunisiennes au développement : état des lieux de leur intégration au marché du travail*, 2004, Afkaronline sur le site : www.afkaronline.org.
- 6 BEN HASSINE O.K., *Les femmes dans les sciences exactes : une approche comparée*, Communication présentée au CREDIF lors de la célébration de la journée internationale de la femme le 12 mars 2004.
- 7 BEN HASSINE O.K., Les Femmes dans les sciences exactes : le point de la situation, *INFO-CREDIF*, 2005, 31.
- 8 BEN HASSINE O.K., *Les technologies de l'information et de la communication (TIC) et les femmes tunisiennes : enjeux et actions*, 2005, Afkaronline sur le site : www.afkaronline.org.
- 9 Commission européenne, *Women and science: Making change happen*, Proceedings of the Conference (Bruxelles, 3-4 avril 2000), 2001.
- 10 HULIN N., *Les Femmes et l'enseignement scientifique*, Collection «Science, histoire et société», Ed. PUF, 2002.
- 11 Newtonia (Recherche-action in *Faits & Gestes*, 2004), *Accès des jeunes femmes aux études universitaires scientifiques et techniques*, recherche commanditée par la Communauté française et le Fonds social européen, menée par l'Institut de sociologie et la faculté des sciences de l'ULB sous la direction de M. Ala-Luf et P. Marage, <http://www.egalite.cfwb.be>, <http://ulb.ac.be/newtonia>
- 13 *Faits & Gestes*, 2004, 12, Les études et les carrières scientifiques au féminin : Débats & Recherches en Communauté française Wallonie Bruxelles, Site internet : www.cfwb.be
- 14 Solar C., *Savoirs des femmes et développement durable*, Colloque international «Femmes, sciences et technologie» (Tunis, 20-22 novembre 1997), 1997.

Les femmes dans les sciences et leur rôle dans le progrès des sociétés du Sud¹

Norah Berrah

Physics Department, Western Michigan University, Etats-Unis

Le progrès, au XXI^e siècle, prend l'aspect de la mondialisation dans beaucoup de domaines, particulièrement ceux de la recherche et de l'industrie. Une telle mondialisation ne peut réussir qu'avec l'utilisation, la collaboration et le respect mutuel de tous les partenaires impliqués, sans distinction de race, de religion ou de sexe.

Le statut des femmes dans les sciences s'est considérablement amélioré depuis les années cinquante. Nous avons maintenant des femmes dans les départements scientifiques des facultés, quoique en petit nombre (entre 5 et 10 % en physique, le plus faible pourcentage, et environ 40 % en biologie). On ne trouve généralement pas de femmes à des postes de direction tels que président d'université, doyen de faculté, dirigeant de groupe ou directeur général de société, même si quelques-unes (moins de 1 %) sont parvenues à ces postes.

Je vais présenter dans ce bref article mon expérience et ma vision en tant que physicienne ayant grandi dans un pays du Sud, l'Algérie, et ayant obtenu un diplôme d'études supérieures en physique théorique avant de poursuivre par un PhD en physique atomique et nucléaire aux Etats-Unis.

Mon expérience en Algérie comme étudiante en physique à l'université de Bab Ezzouar à Alger a été très positive. En fait, en 1980, l'Algérie comptait environ 40 % d'étudiantes en physique, contre moins de 5 % aux Etats-Unis, dont la plupart sont étrangères. A Alger en 1979, je n'avais qu'un professeur femme mais quelques assistan-

¹ Traduction du texte original en anglais.

tes d'enseignement. La situation actuelle en Algérie est la suivante : 10 à 15 % de professeurs femmes et 40 % d'étudiantes diplômées. Je crois que les pays d'Afrique du Nord bénéficient du modèle français d'émulation fourni par le D^r Marie Curie, et les femmes scientifiques ou les étudiantes désireuses de poursuivre une carrière scientifique ne sont pas considérées comme des curiosités et ont toujours été acceptées par l'*establishment* comme par le reste de la société.

J'ai eu aussi la chance d'avoir une expérience très positive lors de ma formation d'étudiante en PhD à l'université de Virginie, de post-doc à l'Argonne National Laboratory et de chercheur-enseignant à la Western Michigan University, où j'occupe un poste de *University Distinguished Professor* de physique. J'ai également la chance d'être dans une institution qui croit vraiment à l'égalité des sexes et des races et qui est un employeur qui ne fait pas de discrimination. Le président et le doyen actuels sont tous deux des femmes. Il y a trois ans, le président était afro-américain et le doyen de mon collègue (Arts et Sciences) était une femme. D'autres institutions ont également des équipes diversifiées aux postes de direction mais beaucoup reste à faire, non seulement dans les sociétés du Sud, qui sont plus progressistes professionnellement qu'on ne croit, mais partout dans le monde.

Je crois que pour maintenir et accroître le nombre de femmes dans les sciences, il nous faut reconnaître et accepter le fait que les besoins des femmes peuvent être différents de ceux des hommes. La différence la plus importante qui me vienne à l'esprit est la maternité. Durant la carrière d'une femme, le désir naturel de devenir mère peut surgir. Les institutions devraient réformer le système actuel afin de répondre à ce besoin ou à tout autre besoin important. C'est un compromis essentiel qui devrait être fait par égard pour les différences. On devrait autoriser des pauses de 1 à 2 ans dans les cursus de titularisation en milieu universitaire, et l'industrie devrait permettre aux femmes de prendre un congé de maternité d'au moins trois mois, sans qu'elles risquent de perdre leur situation ou leur rôle sur leur lieu de travail. C'est malheureusement encore un problème dans la plupart des sociétés des pays nord-occidentaux, à de rares exceptions près comme la Suède.

Je crois que nombre de facteurs importants pourraient permettre un accroissement du nombre de femmes dans les sciences. L'encouragement des parents comme celui des enseignants à tous les niveaux de l'enseignement, de la maternelle à l'enseignement secondaire et de l'enseignement supérieur au troisième cycle universitaire, est crucial. Les enseignants devraient faire tout leur possible pour repérer les jeunes filles qui montrent des capacités et de l'intérêt pour les sciences, et les inclure dans toutes les activités techniques et scientifiques que l'école offre. Dans mon cas, mon professeur de maths m'a repérée dans le premier cycle du secondaire et orientée vers la section maths/physique. Je me destinais à la section biologie. Le fait d'être constamment rassurées renforce la confiance

des femmes lorsqu'elles entrent dans un domaine dominé par les hommes. Les médias pourraient jouer un rôle positif en dépeignant la réussite de femmes scientifiques. En règle générale, ce n'est pas le cas actuellement aux Etats-Unis, où les femmes scientifiques sont généralement dépeintes comme peu attrayantes, impopulaires ou incompetentes tandis que leurs homologues masculins jouent le rôle du héros. Ces portraits médiatiques ne peuvent manquer de perpétuer l'idée que les femmes ne sont pas faites pour être des scientifiques, et nous devons nous assurer que les films aussi bien que les documentaires donnent en exemple des femmes en vue dans le monde des sciences, et montrent les efforts de collaboration entre hommes et femmes dans les laboratoires où les femmes jouent un rôle important dans les découvertes capitales qui y sont faites. Il est de notre responsabilité à tous d'informer et d'éduquer les médias sur ces nouvelles réalités en mettant en lumière la réussite de femmes scientifiques d'aujourd'hui.

Les modèles d'émulation sont très importants, et les institutions devraient donc embaucher des femmes compétentes à tous les niveaux, des maîtres-assistants aux professeurs titulaires, aussi bien qu'aux postes de direction tels que président d'université, doyen de faculté, président, directeur général, etc. Bien que nous vivions une période où la discrimination positive est débattue, ma position personnelle est que, à qualifications égales, les institutions devraient donner la priorité aux femmes jusqu'à ce que la proportion de femmes par rapport aux hommes ait augmenté. Le débat sur ce qui constitue une proportion acceptable n'est toujours pas clos ; je me contenterai de dire que 10 % ou moins est inacceptable par les temps qui courent et que 50 % me paraissent un objectif positif à tenter d'atteindre.

Mes recommandations générales pour augmenter le nombre de femmes dans les sciences et les y maintenir sont les suivantes :

1. L'organisme où l'on travaille (université, laboratoire, industrie...) doit s'adapter aux femmes scientifiques en autorisant des horaires flexibles qui permettent de répondre à leurs besoins. Cela ne doit pas être réservé uniquement aux femmes et devrait en fait constituer une politique générale d'attentions, de nature à rendre tout scientifique heureux.
2. Cet organisme doit désigner des mentors pour aider les nouvelles recrues à apprendre à devenir un scientifique qui réussit. Comme le savent les scientifiques seniors, le succès n'est pas seulement lié aux capacités scientifiques de chacun mais aussi à des politiques de travail compréhensives. Ce système de *mentoring* se met souvent naturellement en place entre hommes mais généralement pas entre hommes et femmes, et il n'y a pas assez de femmes scientifiques pour accepter ce rôle. Il faut donc que les scientifiques hommes seniors acceptent ce rôle de mentor auprès des scientifiques juniors, hommes comme femmes.

3. L'organisme où l'on travaille doit aider tous ses nouveaux employés par un ensemble de mesures financières de démarrage afin de faciliter des programmes de recherche rapides et couronnés de succès.
4. Cet organisme ne doit pas surcharger ses nouveaux employés avec des services qui sont autant d'entraves aux efforts de recherche des scientifiques. Cela se produit surtout dans les universités où les services font partie des responsabilités universitaires et, en général, les femmes se voient assigner plus que leur part de services au département, au collège et à l'université.
5. Libérer du temps sous forme de congés sabbatiques est très important pour continuer à apprendre de nouvelles techniques et élargir son éventail de recherche.
6. L'organisme où l'on travaille doit promouvoir les femmes compétentes à tous les niveaux, quand elles le méritent, afin de leur permettre de jouer le rôle de modèle d'émulation pour de nouvelles générations de scientifiques.

Mes recommandations aux conseillers de thèse sont les suivantes :

1. Soyez des mentors attentifs et donnez des responsabilités à vos étudiants. Assurez-vous que les étudiants sentent qu'elles font partie du groupe et qu'elles ne sont pas «maltraitées» par leurs collègues masculins. Les gens ont des susceptibilités diverses et nous devons tous être attentifs aux différences et traiter étudiants et collègues avec respect et sensibilité.
2. Trouvez les moyens de permettre aux étudiants d'aller présenter leurs travaux dans des colloques nationaux et internationaux. Cela leur donne une vision élargie du monde scientifique en même temps que cela les motive pour accroître leurs efforts de recherche et rester dans le domaine.

Mes recommandations aux doctorants qui souhaiteraient diriger un programme de recherche indépendant sont les suivantes :

1. Il est important d'avoir un ou deux postes de post-doc dans des laboratoires différents pour élargir et approfondir ses capacités à développer un programme de recherche. Le choix d'un poste permanent doit se faire avec soin dans la mesure où les organismes dif-

fèrent quant au niveau d'engagement et d'aide à leurs employés.

2. Dans les sciences où l'on utilise de grands instruments ou pour les grandes installations qui ont des «utilisateurs», choisissez vos collaborateurs avec soin car les collaborations ratées peuvent être destructrices à bien des égards.
3. Participez à des ateliers nationaux et internationaux qui pilotent et enseignent les stratégies de gestion des conflits dans le travail.
4. Tentez de résoudre à l'amiable tout conflit dans le travail en essayant de comprendre la nature des conflits quand ils surviennent. La plupart des conflits sont dus à la compétition et celle-ci se produit entre hommes, entre hommes et femmes, et entre femmes. Il ne faut pas se sentir visé personnellement par un conflit, et ne pas l'interpréter nécessairement comme une question de sexe ou de préjugés, quoique cela puisse parfois être le cas. La nature humaine est imparfaite et nous devons gérer cette réalité avec intelligence en essayant de placer les objectifs scientifiques au-dessus des agacements quotidiens dus à la compétition, au sexisme et aux préjugés. Une communication claire est un élément-clé, et le compromis entre toutes les parties est essentiel. Si tout échoue, il peut être nécessaire de faire intervenir le directeur de recherche, le directeur, le doyen ou le président de l'institut ou de l'organisme. N'acceptez pas de compromis inacceptables avec lesquels vous ne puissiez vivre si vous pensez raisonnablement qu'ils sont partiaux et injustes.

En conclusion, je crois que tous les scientifiques ont la responsabilité de faire avancer les sociétés. Les femmes représentant environ la moitié de la population, nous devons tous faire d'ardents efforts pour les encourager, les inclure et faciliter leur intégration et leur promotion en tant que scientifiques.

En particulier, les femmes du Sud peuvent et doivent jouer un rôle-clé dans leurs sociétés afin de permettre à celles-ci de progresser et de rattraper leurs homologues du Nord. Ces derniers doivent continuer et même accroître leurs efforts en créant plus de programmes d'échange et de formation entre le Nord et le Sud afin d'amener à un équilibre scientifique qui pourrait contribuer grandement à la stabilité économique et politique.

Session 2

Energies pour le développement¹

Responsable de la session :

Juan-Antonio Rubio

Directeur du CIEMAT, Madrid

Nouvelles énergies pour le futur¹

Carlo Rubbia

Prix Nobel de physique 1984

Ancien directeur général du CERN

Merci beaucoup de m'avoir invité à faire cette présentation aujourd'hui. Je dois dire que j'espérais laisser la présentation de l'énergie solaire à un intervenant qui n'est pas là aujourd'hui. Il est très difficile de modifier une présentation comme celle-ci à la dernière minute, je vous prie donc par avance d'excuser le fait qu'elle puisse paraître davantage tournée vers l'énergie nucléaire que vers l'énergie solaire. Juan Antonio Rubio discutera de la question de l'énergie solaire en Espagne ; il est plutôt concerné par les applications pratiques industrielles de l'énergie solaire, mais je pense qu'il y avait aussi place pour une contribution fondamentale sur cette question. L'énergie solaire avait déjà été découverte par Archimède il y a 2 000 ans, quand il essaya de combattre les bateaux des Romains. Nous avons vérifié et nous avons trouvé en effet que cela aurait pu se réaliser : les chiffres sont tels qu'il aurait pu les détruire. Mais le vrai problème n'est pas tant celui de la physique fondamentale mais celui de la capacité à produire une quantité industrielle de cette énergie, ce qui est assurément quelque chose de nouveau pour nous.

Les problèmes énergétiques

L'explosion démographique

Nous allons discuter de quelques sujets généraux puis j'aborderai les problèmes pratiques. Tout d'abord, le problème sous-jacent à tout ce que nous faisons aujourd'hui est l'explosion démographique, et il est donc utile de nous poser la question des raisons de cette explosion rapide de la population. La figure 1 montre un diagramme qui explique la conception actuelle de la transition démographique. Ce n'est pas une explosion exponentielle, comme on le pensait au bon vieux temps du Club de Rome (avec

Peccei *et al.*). Notre compréhension actuelle du phénomène est très différente. L'humanité passe par un certain nombre de phases.

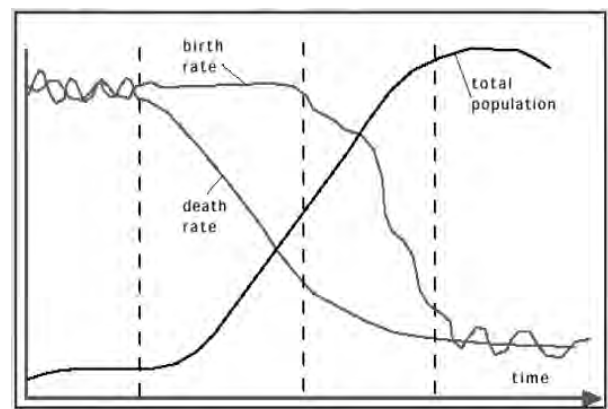


Fig. 1 : La transition démographique

Dans la première phase, nous avons des taux de natalité et de mortalité qui sont tous deux élevés et qui s'équilibrent, avec pour résultat un niveau de population très bas, qui est le niveau standard précédant la transition démographique actuelle.

Puis le taux de mortalité diminue grâce à la médecine, à une meilleure santé, à plus de nourriture, ce qui a permis aux gens de vivre de mieux en mieux. L'espérance de vie,

¹ Traduction de la transcription de l'exposé en anglais.

qui était de l'ordre de 29-30 ans au temps des Romains, atteint jusqu'à 70 à 80 ans de nos jours, ce qui représente un gain très important. Curieusement le taux de natalité se maintient à un taux élevé, parce que cela fait partie de la société et que c'est la manière dont elle fonctionne. On a donc un taux de mortalité décroissant mais un taux de natalité qui reste fort.

L'étape suivante est la maîtrise du taux de natalité : les gens se rendent compte qu'il existe d'autres façons d'organiser la société que de faire des enfants, et qu'un tel taux n'est plus justifié. Le taux de natalité décroît donc mais cela survient après, plus tard, parce que c'est une décision tandis que pour le taux de mortalité, c'est la réalité de la vie. Finalement nous arrivons à une situation dans laquelle les taux de mortalité et de natalité sont tous deux très bas et probablement égaux. Mais ce qui reste alors est une très importante modification de la population. Ce changement a été estimé par de nombreux modèles et considérations diverses à un chiffre de l'ordre de 10 à 12 milliards d'individus. Cela surviendra dans les prochaines 50-100 années, avec une transition qui différera entre les pays riches et pauvres. Les pays en voie de développement en sont encore aux premiers stades de ce processus tandis que, dans les pays très riches, le taux de natalité est en fait beaucoup plus faible que le taux de mortalité.

Pour vous donner une idée, regardons les chiffres : en 1700 nous étions 600 millions, en 1800, 930 millions, en 1900, 1,6 milliards, en 1950 - pour beaucoup d'entre nous, c'est hier -, nous étions 2,4 milliards, en 1985, 5 milliards, et en 2020, nous serons 8 milliards. Nous avons donc affaire à une croissance explosive de la population qui est actuellement de l'ordre de 90 millions d'individus en plus par an. 90 millions, c'est beaucoup. L'ensemble des 25 pays de l'Union européenne représente 300 millions d'individus, ce qui veut dire qu'en trois ans et demi on a l'équivalent d'une Union européenne en plus. Tout le monde s'accorde sur le fait que les progrès futurs de l'humanité seront impossibles sans énergie. Avec autant de gens et sans énergie, on a vraiment un sérieux problème, et donc ma conclusion est que l'énergie est nécessaire à la préservation durable de l'humanité : sans énergie, ce serait un désastre.

Energie et vie humaine

Le second point est de comprendre un peu mieux quelle est la situation pour la consommation individuelle d'énergie. Dans les pays très avancés, elle a été multipliée par cent depuis les débuts de l'histoire. Les divers stades de développement ont apporté une consommation accrue d'énergie. A l'heure actuelle, chacun d'entre nous produit de l'ordre de 100 kg de CO₂ par jour. Incidemment, je dois vous dire que chaque voiture produit quatre fois son poids de CO₂ chaque année. Donc quand vous regardez votre voiture, pensez que chaque année il y aura quatre fois son poids en termes de CO₂. Et quand on sait qu'il y a à peu près un milliard de voitures, vous voyez le

problème. A un niveau plus philosophique, on peut se demander quelle est la situation de l'équivalent par an, et l'on voit sur la figure 2 un graphique qui montre l'Égypte, la Grèce, Rome, le début de l'ère chrétienne, la découverte de l'Amérique, puis la révolution industrielle qui a soudainement créé une demande en énergie fossile accumulée depuis des millions d'années. Aujourd'hui, en un an, nous extrayons à peu près la quantité de matière brute fossile produite en un million d'années : donc un million d'années pour la constituer et une année pour la brûler.

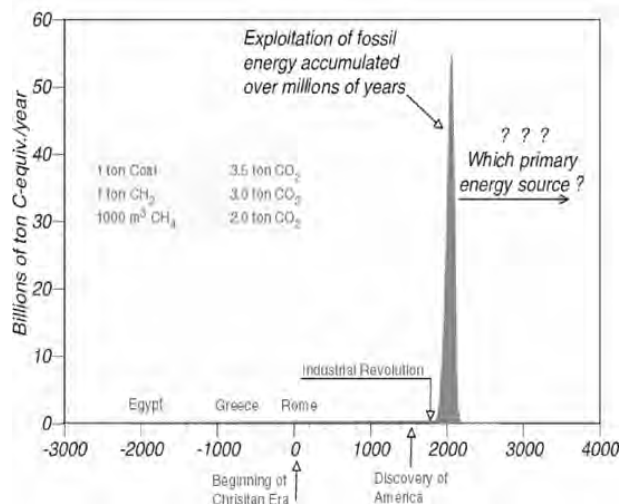


Fig. 2

Bien sûr, chacun connaît la situation : il arrivera un moment où l'énergie fossile sera épuisée. Avec quelque 12 milliards de gens sur cette planète, la question va se poser de savoir quelle source d'énergie primaire sera notre solution de rechange. Maintenant nous savons aussi que la consommation d'énergie par personne augmente de plus de 2 % par an, qu'elle est dominée par l'énergie fossile, et que toutes les prévisions disent que, dans les 30 prochaines années, sauf événement extraordinaire, les énergies fossiles continueront à fournir la majeure partie de l'énergie utilisée par l'humanité. La vraie question est donc : et après ? Que ce soit aujourd'hui, demain, ou quand nous n'y serons plus, l'humanité entend perdurer dans cet après. Mais comment va-t-elle continuer à vivre au-delà de la phase d'exploitation des énergies fossiles de son propre développement ?

Energie et pauvreté

Un autre point important que je veux mentionner est celui de l'énergie et de la pauvreté. Il existe une corrélation très importante entre le manque en énergie et la pauvreté. 1,6 milliards de personnes, soit un quart de la population mondiale actuelle, n'ont pas l'électricité. Et vivre sans électricité équivaut à une totale impossibilité de s'engager dans une activité de quelque valeur socio-

économique que ce soit, parce que sans électricité, on est vraiment coupé du monde moderne, bien que vivant sur la même planète. 1,6 milliards de personnes ! 2,4 milliards de personnes dépendent presque exclusivement de sources d'énergie traditionnelles. Ils n'ont pas d'énergie qui leur soit fournie, ils ramassent des bouts de bois, les font brûler, et peuvent ainsi cuire la nourriture ou l'utiliser pour d'autres besoins. Sur les 6 milliards de personnes de la planète, environ la moitié vivent dans la pauvreté, dont un cinquième sont sévèrement sous-alimentés. Le reste de la population, c'est-à-dire nous, vit dans le confort et la santé. Les populations pauvres se concentrent essentiellement dans les pays en voie de développement. On note une amélioration formidable en Chine mais on voit que l'Inde est un problème tout comme l'Afrique. Une autre remarque est à faire ici : il est de la responsabilité des pays technologiquement avancés d'apporter des solutions et de montrer le chemin à ceux qui en ont le plus besoin. Si nous ne sommes pas capables nous-mêmes de développer des énergies bon marché et abondantes pour chacun, les pays en voie de développement seront incapables de développer un système de responsabilité. C'est à nous d'utiliser le don qui nous a été fait en termes de science et de technologie et de transformer ce don en un système pratique qui ne soit pas une solution du type « guerre des étoiles » mais quelque chose d'assez simple pour que les pays émergents puissent le développer et améliorer leurs conditions de vie.

De nouvelles énergies, dans combien de temps ? Je parle depuis 30 minutes. Pendant ce temps, 5 000 nouveaux individus sont venus au monde, au rythme de 3 personnes par seconde, principalement dans les pays en voie de développement, et ils auront besoin de beaucoup d'énergie pour survivre décemment. Au niveau actuel de consommation, nos réserves correspondent à une durée de l'ordre de 230 ans pour le charbon, 45 ans pour le pétrole, 63 ans pour le gaz et 54 ans pour le nucléaire. La longévité de la survie de l'ère fossile sera affectée d'une part par la découverte de nouvelles ressources exploitables étroitement dépendantes du prix, et d'autre part par l'inévitable croissance de la population mondiale et de son niveau de vie. Il est donc difficile d'estimer quelle sera cette longévité. Assurément, des prix augmentés permettent d'avoir plus de pétrole, mais plus de gens requiert plus de pétrole. On doit aussi prendre en compte le long délai de préparation pour le développement massif de nouvelles sources d'énergie, et la fin de l'ère fossile pourrait être en vue : 30-40 ans, ce n'est pas beaucoup pour traiter le problème compliqué, coûteux et immense de la production de nouvelles énergies, et le problème du pétrole n'en est que le tout début.

Changement climatique ?

Dans cette situation, nous avons un nouveau venu important et sérieux qui est le changement climatique. La consommation d'énergie fossile pourrait être préma-

turément freinée par le bouleversement climatique. Nous pourrions n'être plus autorisés à brûler tout le charbon disponible, tout le pétrole disponible, s'il s'avérait que cela modifie le climat. L'exemple récent du désastre majeur de Katrina a probablement quelque chose à voir avec la puissance accrue et le développement d'événements extrêmes, qui pourraient être liés au changement climatique.

En tant que physicien, je voudrais dire aux personnes qui ne sont pas des physiciens une chose importante : brûler des combustibles fossiles a un impact climatique car cela produit 100 fois d'énergie capturée que n'en produit la combustion elle-même, à cause de la radiation solaire piégée croissante. En d'autres termes, si l'on brûle un kilogramme de charbon, l'effet chauffant intégré est 100 fois plus élevé en termes d'effet de serre. Cela est dû au fait que le CO₂ émis a une durée de vie beaucoup plus longue et par conséquent, intégrés sur cette durée, les effets produits représentent effectivement 100 fois plus d'énergie solaire piégée à l'intérieur de la planète, en plus de ceux produits par nous à travers l'acte explicite de brûler.

Le doublement de la concentration préindustrielle de CO₂ dans l'atmosphère (une très sérieuse perturbation) va se produire après l'extraction de 1 000 milliards de tonnes de carbone fossile. Nous sommes actuellement confrontés à un effet de serre où prédomine le CO₂, qui double approximativement en l'espace de 50 à 75 ans, selon la manière dont les choses vont évoluer. On considère généralement que des changements de technologie majeurs doivent survenir avant, et que, pour modifier le modèle énergétique traditionnel actuel, une formule de nouvelle recherche et développement sera nécessaire. La recherche et développement est donc le seul moyen de sortir de ce pétrin, comme cela a été le cas dans d'autres domaines comme la médecine, la santé, la révolution industrielle, la mobilité, la communication, qui dépendaient tous de la capacité à produire un formidable effort de recherche et développement. Ce devrait être la même chose dans le cas de l'énergie, mais j'ai bien peur que ce ne soit pas ce qui se passe aujourd'hui. De nouvelles sources dominantes sont nécessaires pour concilier l'énorme demande énergétique, qui croît rapidement, particulièrement dans les pays en voie de développement, avec un impact climatique acceptable dû au réchauffement climatique.

Energie et produit intérieur brut (PIB)

Voyons maintenant quelques chiffres qui illustrent la situation actuelle. La figure 3 indique l'énergie dépensée en gigajoules par personne en fonction du PIB par personne. L'axe horizontal représente donc, par personne, l'argent que nous gagnons, et l'axe vertical, l'énergie produite en gigajoules, que nous utilisons principalement sous forme d'énergie fossile. Voyons ce que nous trouvons : d'abord les Etats-Unis sont en train d'atteindre une sorte de pallier mais à un niveau plutôt élevé, au-dessus de tous les autres pays. L'Europe, le Japon, l'Austra-

lie s'en rapprochent mais n'atteignent pas le niveau des Etats-Unis, à la fois en termes de travail et en termes d'autres possibilités.

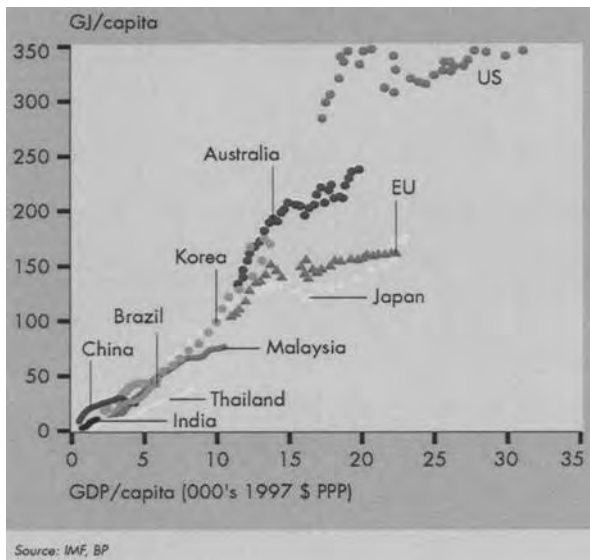


Fig. 3 : Consommation d'énergie en fonction du PIB

Mais on trouve un très grand nombre de pays : Chine, Inde, Brésil, Thaïlande, Malaisie, Corée, qui commencent à avoir des PIB par personne très élevés et qui sont des grands utilisateurs énergétiques. Nous savons que le PIB par personne de ces pays va certainement augmenter. L'Inde et la Chine connaissent une augmentation de 10 % par an. Et comme c'est une courbe universelle, cela nous donne à penser que la consommation d'énergie suivra, pour tous, le PIB. L'argument est simple : tout ce qu'on peut acheter ou créer demande de l'énergie, et l'énergie doit être fournie. On le voit dans le cas de la Chine : en 1995, pour un total de 1 000 TWh d'énergie produite, la source était l'hydrologie pour 8 %, le pétrole pour 6 %, le nucléaire pour 1 %, zéro pour le gaz, et le charbon pour 75 %. En 2020, il faudra produire quatre fois plus d'énergie et nous aurons toujours 68 % de charbon, très peu d'énergie renouvelable (0,3 %), un peu plus de gaz, de nucléaire, de pétrole. Mais le plus important sur ces deux graphiques est le manque d'un facteur 4 de production globale d'énergie, qu'il faudra d'une manière ou d'une autre découvrir et utiliser. C'est une indication qu'il existe une corrélation évidente entre la consommation d'énergie et le PIB, qui conduit à une explosion de la demande dans les pays en voie de développement, phénomène qui a été observé en Chine et en Inde.

Nouvelles énergies, lesquelles ?

Dans la situation actuelle, il est parfaitement normal qu'en tant que physiciens, nous nous demandions où nous avons de l'énergie ? L'énergie est une quantité physique,

un processus physique, donc les physiciens devraient savoir mieux que quiconque ce que cela veut dire, et où trouver ces énergies. Il n'y a que deux ressources naturelles qui aient la capacité, sur le long terme, de pourvoir à la survie énergétique de l'humanité : le solaire et le nucléaire. D'autres sources n'auront pas la capacité de maintenir notre niveau de développement.

La consommation énergétique mondiale représente actuellement moins de 1/10 000^e de ce qui est disponible à la surface de la terre dans les pays ensoleillés. Exploitée rationnellement, l'énergie solaire pourrait fournir suffisamment d'énergie pour l'humanité - c'est une affirmation hypothétique qui n'est pour l'instant prouvée par aucune réalisation pratique, et J.A. Rubio vous en dira un peu plus sur l'énergie solaire en général. Donc 1/10 000^e des régions ensoleillées suffit à fournir l'énergie nécessaire, aujourd'hui, au fonctionnement du monde.

L'autre possibilité est l'énergie nucléaire, mais la *nouvelle* énergie nucléaire. Nous savons que l'énergie nucléaire représente aujourd'hui 6 % de l'énergie primaire de la planète, et nous savons aussi que la consommation d'énergie de la planète augmente de 2 % par an, ce qui veut dire que dans trois ans nous pourrions négliger la contribution du nucléaire actuel parce qu'avec cette quantité de nucléaire, nous sommes trois ans en aval de la consommation ordinaire. C'est clairement trop peu. Nous savons aussi que, par exemple, le protocole de Kyoto a 70 ans de décalage dans ses effets, donc ces chiffres sont à l'évidence trop faibles pour changer vraiment les choses. Par conséquent, si l'on veut une énergie nucléaire qui puisse fournir la moitié de l'énergie totale, l'autre moitié étant fournie par le solaire, en ayant à l'esprit l'emballage de la croissance des pays en voie de développement, à l'évidence on doit convenir que l'énergie nucléaire actuelle est inadéquate. En fait, j'ai déjà dit que l'énergie nucléaire actuelle est basée sur l'uranium 235 qui représente seulement 0,71 % de l'énergie totale contenue dans l'uranium, et il n'y a pas plus d'énergie nucléaire que de pétrole en première approximation. Cependant, l'uranium naturel, le thorium, qui pourraient subir une fission d'une nature différente, et le lithium, qui pourrait subir la fusion, sont adaptés, pour des milliers d'années et à plusieurs reprises, au taux actuel de consommation.

Le nucléaire et le solaire sont donc nos deux seuls atouts. Il est peu probable qu'un développement stable à long terme de l'humanité puisse être possible sans l'un et l'autre. Il n'y a pas de choix sans l'un ou l'autre. Si vous êtes au milieu du Sahara vous n'allez pas construire un réacteur, vous allez installer du solaire, mais à Hambourg en Allemagne, vous aurez probablement bien du mal à capter le soleil nécessaire.

Cette énergie nucléaire n'est donc pas le nucléaire actuel, et cette énergie solaire n'est pas le solaire actuel. Il faut développer des technologies complètement nouvelles, ce qui signifie que les physiciens et les scientifiques en général devraient venir en tête pour changer la situation, suivis par les industriels, et le temps que nous avons est très court.

Nouvelles formes d'énergie solaire

Actuellement, les sources d'énergie renouvelable connues couvrent seulement 2,3 % de la consommation d'énergie primaire. Donc le nucléaire actuel, l'hydrologie actuelle, l'énergie renouvelable actuelle jouent un rôle secondaire dans la question de l'énergie. Pour changer significativement un tel modèle qui est prédominant, il faut développer de nouvelles technologies. Il n'y a pas de conspiration contre l'énergie renouvelable, c'est juste que dans les circonstances actuelles, elle ne semble pas marcher comme elle devrait. Je vais vous donner quelques exemples de domaines dans lesquels de nouveaux développements pourraient être importants : la figure 4 montre quelques exemples de miroirs solaires en Italie, d'autres dispositifs d'énergie solaire en Espagne, dont J.A. Rubio vous parlera, et enfin un autre élément important qui est la «biomasse». Celle-ci peut être utilisée de certaines façons pour produire de l'énergie de façon substantielle. En fait, toutes ces technologies en sont au début de leur développement et un nouveau système pourrait être développé.

Je vais parler brièvement de la nouvelle énergie solaire. C'est un fait que pour un mètre carré de bonne localisation, comme le Sud marocain ou d'autres localisations de ce type, il «pleut» un équivalent de 25 cm de pétrole par an. C'est donc une énorme quantité d'énergie que le soleil nous donne, et notre problème n'est pas tant la quantité d'énergie présente que le fait que nous ne soyons pas capables de l'utiliser - à la fin de l'année, on a beau chercher, il n'y a pas un beau baril de pétrole prêt à être utilisé sur chaque mètre carré !

Il y a différentes manières d'utiliser cette énergie : elle peut être soit directement collectée avec des miroirs la concentrant, ou convertie alternativement, mais avec une efficacité moindre, en énergie éolienne, biomasse, énergie hydraulique ou photovoltaïque, mais aucun de ces

procédés n'est utilisé correctement jusqu'à présent. Ce n'est pas une conspiration et il y a à cela deux raisons. L'une est le coût. On sait que l'énergie la moins chère est celle qui est la plus utilisée, et le fait que le pétrole soit en train de grimper est un point en faveur de l'énergie renouvelable (sinon du consommateur !). A l'évidence le choix énergétique est un choix financier. Les politiques peuvent dire ce qu'ils veulent, les lois de l'économie sont beaucoup plus fortes : l'énergie qui arrivera en tête sera toujours celle qui apporte le plus grand bénéfice en termes de conditions financières à ceux qui ont la détermination et la capacité d'acheter et d'investir. La seconde raison est typique de l'énergie renouvelable : l'énergie est produite uniquement lorsque la source est disponible et non au moment où l'on en a besoin. C'est le problème. Aujourd'hui, au milieu de la nuit, il n'y a pas d'électricité photovoltaïque à utiliser. Demain, s'il n'y a pas de vent, que faisons-nous ? est-ce que nous fermons le système ? Donc l'énergie produite par le solaire sous quelque forme que ce soit, directement ou indirectement, est normalement très dépendante du moment, avec une variabilité qui est incompatible avec les utilisations actuelles. Par exemple, je ne vois pas la Lufthansa ou quelque autre compagnie aérienne voler à l'énergie solaire car on ne peut imaginer une situation où un nuage couvrirait le système solaire, coupant l'alimentation en énergie, etc.

Pour surmonter ces limitations, on mène énergiquement de nouveaux développements technologiques dans plusieurs pays afin 1° de réduire le coût à un niveau acceptable, et 2° d'introduire un stockage thermique entre la source solaire et l'application - J.A. Rubio vous en parlera plus longuement.

Aujourd'hui, la seule énergie renouvelable gagnante est l'énergie hydraulique pour deux raisons. D'abord parce qu'elle est suffisamment bon marché, donc on peut produire de l'énergie à un coût compatible avec ce système,

Today's known renewable energy sources, with the exception of hydro, cover only 2,3% of primary energy consumption. In order to modify significantly such a pattern of fossil predominance, NEW INNOVATIVE TECHNOLOGIES MUST BE DEVELOPED.



Fig. 4

mais aussi parce qu'on a un barrage, un lac, en d'autres termes une possibilité de séparer le processus d'accumulation naturel, qui est dans ce cas la pluie, de la nécessité de produire de l'énergie quand vous en avez besoin. Donc, selon moi, un argument fondamental pour qu'une énergie, quelle qu'elle soit, devienne gagnante est qu'elle ait un coût peu élevé et qu'elle soit disponible quand on en a besoin.

Les champs solaires qui concentrent la lumière solaire sur des miroirs (figure 5) sont un exemple de nouvelle forme d'énergie en cours de développement et utilisant ce concept de stockage. Un miroir produit un liquide qui est chaud d'un côté, froid de l'autre, et les deux systèmes sont totalement séparés. Quand il y a du soleil, on utilise le stockage chaud, et quand il n'y en a pas, on va utiliser le stockage froid, et donc l'alternateur combiné peut fonctionner d'une manière totalement découplée du système, pourvu que le stockage soit assez bon et qu'on voie très rapidement qu'il l'est.

Sur la figure 6, vous avez un exemple très important de diverses tailles de systèmes pour le stockage d'objets

porteurs d'énergie : à droite, l'hydrogène comprimé, l'hydrogène liquide, le CH₄ comprimé, le méthanol et l'essence, et à gauche, le stockage thermique. Vous voyez que les deux côtés ne sont pas très différents pour la même énergie stockée. Mais il faut faire attention : l'énergie thermique est obtenue en brûlant une fois le combustible, tandis que l'autre système thermique est en fait un processus qui peut se produire périodiquement. En d'autres termes, on récupère le thermique mais pas l'autre. Je vous donnerai quelques chiffres : 1 MWh d'énergie thermique peut être stocké dans 5 m³ de sel fondu, ce qui est excellent. Une autre manière de comparer l'efficacité du stockage thermique est la gravitation (l'eau chutant d'un barrage) : il s'avère que l'efficacité du stockage thermique est équivalente à une chute d'eau gravitationnelle de 72 km !

Donc dans le cas de l'énergie solaire que nous pouvons stocker, nous parlons d'une sorte de «grande substitution», ce qu'on fait dans toute application ou procédé. Comme indiqué dans la figure 7, aujourd'hui, dans un système standard, vous utilisez du combustible fossile :

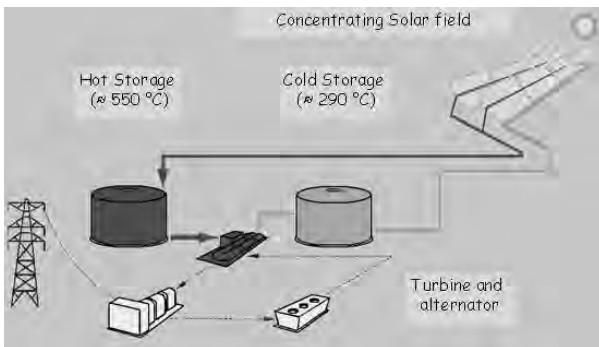


Fig. 5

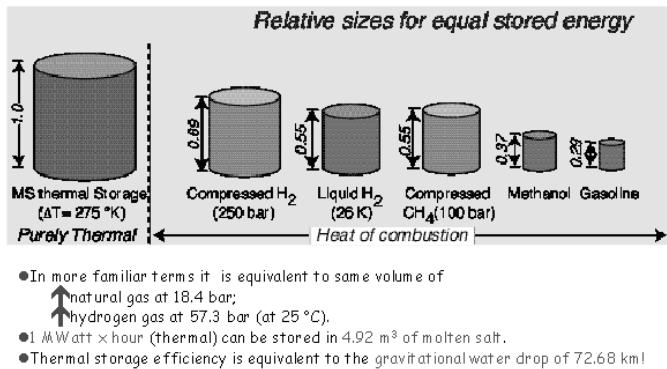


Fig. 6 : Captage de l'énergie solaire avec stockage

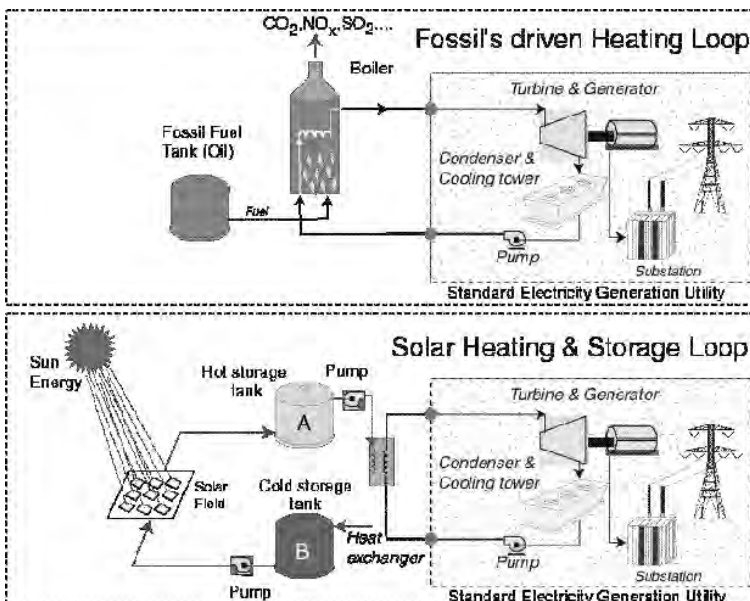


Fig. 7 : La «grande substitution»

vous brûlez du pétrole dans une chaudière, vous chauffez ce liquide - ceci est utilisé dans un générateur de vapeur pour produire de l'électricité, et pourrait l'être pour produire du papier ou ce que vous voulez - vous prenez la flamme, 95 % du pétrole est brûlé et produit sa chaleur dans le domaine d'application. L'énergie solaire peut être utilisée pour chauffer deux réservoirs, comme dans la figure 5, et les deux réservoirs remplacent les réservoirs qui stockaient l'énergie fossile mais tout le reste est pareil. Il y a donc un total découplage entre cette partie et la seconde partie de l'application, qui reste la même. En principe les gens devraient mieux savoir s'ils utilisent du pétrole qui est brûlé à partir d'un réservoir ou s'ils utilisent du liquide chaud accumulé à partir d'une source de rayonnement solaire.

Pour conclure sur ce point, regardons la figure 8 (planche I) qui montre la planète : les zones vertes sont celles qui reçoivent le plus de rayonnement solaire et vous voyez qu'il y a beaucoup de ces zones dans le monde. L'échelle sur la gauche donne le nombre de GW.h/km² par an. Le petit point blanc entouré en rouge représente la superficie théoriquement nécessaire pour fournir, en concentrant l'énergie solaire, la demande mondiale en électricité de 35 000 TW.h/an prévue en 2050. Il est donc évident qu'on a inventé un système intelligent et utile qui peut utiliser cette énergie d'une manière sensée.

Répartir cette petite zone blanche sur les grandes zones vertes n'est pas simple, mais si vous le faites, je pense que vous aurez le plein approvisionnement électrique d'ici à 2050. C'est absolument remarquable. Bien sûr, toute l'électricité ne serait pas produite ainsi.

Nouvelles formes d'énergie nucléaire

J'aimerais m'attarder un peu plus sur l'énergie nucléaire et sur la question de nouvelles formes d'énergie nucléaire. D'abord, ces nouvelles formes doivent être respectueuses de l'environnement, ne pas contribuer à l'effet de serre, et aussi n'être pas susceptibles de prolifération. Nous discuterons ce point très attentivement parce que la plupart des arguments pour l'énergie nucléaire sont liés avant tout au fait que les pays en voie de développement veulent maintenant posséder l'énergie nucléaire, et cela constitue un problème majeur. Ces nouvelles formes ne doivent pas donner lieu à des dérivés radioactifs à longue durée de vie, il ne doit pas y avoir de risque de production galopante et l'on doit avoir un très petit stock de combustible.

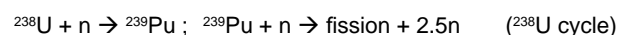
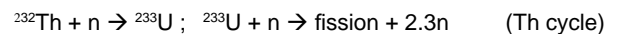
La question est donc en fait un point d'interrogation. Y a-t-il une règle pour l'énergie nucléaire ? Parce que tout le monde ne serait pas d'accord avec le fait qu'on veuille faire de l'énergie nucléaire, cela voudrait dire que lorsqu'on en aura terminé avec les combustibles fossiles toxiques, on sera obligé de se diriger vers le solaire. Un point c'est tout, parce qu'il n'y a rien d'autre. Je crois néanmoins qu'il faut de l'énergie nucléaire, la question est de savoir quel niveau on veut atteindre.

Dans les années soixante, les «atomes pour la paix» promettaient une énergie nucléaire bon marché, abondante et universellement disponible, où les quelques pays «nucléaires» assureraient le nécessaire savoir-faire pour les nombreux autres pays qui auraient renoncé à l'armement nucléaire. Aujourd'hui, la situation est loin d'être acceptable : du fait des développements technologiques, le lien entre les applications pacifiques et militaires s'est resserré :

- L'enrichissement de l'uranium peut être facilement étendu à un niveau suffisant pour produire un uranium 235 de qualité «bombe» (voyez le cas de l'Iran par exemple).
- Les réacteurs à uranium naturel et à l'eau lourde (CANDU) génèrent une quantité considérable de plutonium, telle qu'ils produisent facilement du plutonium 239 de qualité «bombe» (c'est le cas de l'Inde).

Maintenant la question est de savoir si nous pouvons avoir une prolifération nucléaire libre dans tous les pays ? A mon avis, cela ne sera acceptable que lorsque le cordon ombilical entre l'énergie nucléaire et l'arme nucléaire sera coupé. Si nous continuons à jouer le jeu de l'énergie reliée à la bombe, les problèmes de l'humanité seront si compliqués que seuls quelques pays le feront, et les pays qui ont peu ou pas d'énergie se trouveront en difficulté. Une nouvelle technologie totalement différente et adaptée doit donc être développée.

Il y a principalement trois possibilités de produire de l'énergie nucléaire en grande quantité, sans ou avec prolifération. L'énergie est produite à chaque fois qu'on a une fission ou une fusion nucléaire, comme indiqué ci-dessous :



Sont particulièrement intéressantes les réactions de fission dans lesquelles un élément naturel facilement fissionable est surgénéré en un processus de production. On commence avec quelque chose qui n'est ni «fissionable» ni «fusionable» et l'on crée à partir de là un autre élément qui est utilisé. Le premier exemple est le thorium, qui devient de l'uranium 233, qui est fissionable et donne 2,3 neutrons et de l'énergie, et qui n'est pas susceptible de prolifération. L'autre possibilité est l'uranium appauvri, qui devient du plutonium 239, mais cette réaction est hautement susceptible de prolifération. Je pense donc que la réaction du thorium et celle du lithium pour la fusion peuvent être exploitées en toute sécurité dans tous les pays. Je précise que le thorium n'est pas susceptible de prolifération pour trois raisons :

- La chaleur de désintégration des particules alpha s'oppose à la basse température requise par l'explosif autour du cœur (190 °C pour 100 W).

- L'activité gamma des produits de désintégration rend le maniement et le transport virtuellement impossibles. La contamination de l'uranium 232 (2×10^3 ppm) due au titane 208 (2,6 MeV) pour une masse critique d'uranium est d'environ 72 Sv/h (50 % de la dose létale après 5 minutes) ce qui rendrait impossible la fabrication d'une bombe et son transport dans un avion, etc.
- Les fissions spontanées réduisent fortement son rendement potentiel à cause de la préinitiation de la réaction en chaîne. Plus faciles à construire, les systèmes d'implosion *gun-type* sont déjà exclus pour le plutonium 239 avec 66 neutrons $g^{-1}s^{-1}$.

Je passe, si vous le permettez, sur d'autres processus possibles d'énergie nucléaire comme l'amplificateur d'énergie. Un autre point important que j'aimerais aborder est celui du réacteur de fusion et d'ITER : vous voyez sur le diagramme de la figure 9 (planche I) qu'ITER devrait atteindre un niveau suffisant pour produire essentiellement l'ignition, ce qui n'est pas encore obtenu. Mais ITER, dans le cas le plus optimiste, n'est que le commencement de l'histoire, car lorsque la génération actuelle d'expériences sera achevée, l'étape suivante sera ITER, qui sera de la technologie de démonstration, de la confirmation de physique, mais pas encore une machine. Après, on aura un réacteur de démonstration puis nous arriverons enfin à un réacteur commercial dans une cinquantaine d'années. Je vous cite une plaisanterie à ce sujet : une personne célèbre demande à un physicien de la fusion : «Pourquoi dites-vous que cela prendra 50 ans alors que vous avez déjà dit 50 ans il y a 25 ans ?» et ce dernier répond : «Je suis un homme sérieux, je ne change pas d'avis !».

Le second point est que la situation aujourd'hui est telle que la quantité d'argent et d'intérêt que la société a investie dans le développement de ces nouvelles énergies, que ce soit le solaire ou le nucléaire, ne représente qu'une part infime de l'argent investi dans l'énergie à utiliser. Par exemple, ITER représente 4 milliards d'euro, ce qui équivaut à deux jours d'augmentation du prix du pétrole, et le pétrole ne représente qu'un tiers du coût total de l'énergie utilisée. Donc, dans 10 ans, nous aurons ITER en cours de test, plus 10 ans pour en tirer un profit, soit 20 ans en tout. En 20 ans la société va dépenser deux jours d'augmentation du coût de pétrole. Deux jours à investir dans le futur, deux jours sur 20 ans, ne semble pas un chiffre correct en termes de capacité de l'humanité à ne pas être vaincue et submergée par le manque de préparation, qui est un problème général que nous observons partout dans les sociétés modernes. A mon avis, nous n'investissons pas assez en temps et en argent pour être capables de développer de nouvelles formes d'énergie où que nous soyons. Avec les différentes options que nous avons décrites, nous devrions être capables de résoudre aussi le problème des déchets. Toutes les données montrent en effet que pour un réacteur normal au thorium, pour l'amplificateur d'énergie au thorium, pour l'usine de fusion magnétique, on sera capable

d'atteindre au bout de 500 ans un niveau de radioactivité résiduelle égal à celui du charbon. 500 ans est une durée raisonnable qu'on peut maîtriser.

Conclusion

Le futur de l'humanité dépend fondamentalement de la disponibilité ininterrompue d'énergie bon marché et abondante. Si l'approvisionnement en énergie devait s'effondrer, l'humanité pourrait s'écrouler. C'est le premier point et le plus important. Le second est que l'énergie fossile ne durera pas éternellement ; de plus il est probable qu'elle soit prématurément restreinte du fait de l'émergence de modifications climatiques sérieuses et incontrôlables. Troisième point : le temps est venu de réfléchir à d'autres sources d'énergie, sans lesquelles l'humanité pourrait bien aller au désastre. Le nucléaire et le solaire sont les deux seuls candidats. Une alternative sérieuse, l'énergie nucléaire sans uranium 235, c'est-à-dire la nouvelle énergie nucléaire et sans prolifération, doit être explorée. La prolifération devrait être éliminée dès que possible. Les réacteurs à fusion nucléaire sont également des candidats probables, vraisemblablement capables de produire de l'énergie pour le futur millénaire, et la différence entre énergies renouvelable et non renouvelable deviendra alors totalement académique. Si une énergie est épuisée en 20 siècles, il est peu probable qu'elle soit renouvelable. L'uranium appauvri est également possible mais pas pour tout le monde à cause des inquiétudes liées à la prolifération. En ce qui concerne l'énergie solaire, l'utilisation directe pour concentrer le rayonnement solaire dans les vastes régions de la «Sun Belt» (ceinture solaire) est particulièrement prometteuse.

Ces méthodes peuvent réussir sur le long terme, mais elles nécessitent d'urgence un programme innovant de recherche et développement. Bien que l'énergie innovante puisse être finalement plus essentielle aux pays en voie de développement, il est réaliste de penser que seule une société technologiquement développée peut favoriser un tel changement.

Questions

Un participant. –

Vous n'avez pas mentionné l'hydrogène comme source d'énergie.

C. Rubbia. –

L'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais un vecteur énergétique, comme l'électricité. La vraie question est de savoir comment va évoluer la méthode par laquelle on produit l'hydrogène, si un jour l'hydrogène devient l'équivalent du gaz naturel synthétique, parce

qu'on peut penser faire avec l'hydrogène tout ce qu'on peut faire avec le gaz naturel. En fait, ces dernières années, l'hydrogène était largement utilisé dans les pays européens et également en Amérique sous forme de «gaz de ville», qui contient 50 % d'hydrogène, le reste étant du CO. L'hydrogène est produit par un procédé chimique ; il y a une énorme quantité d'hydrogène (2 % de l'énergie primaire actuelle utilisent l'hydrogène) c'est donc un système déjà très bien développé. Mais il produit du CO₂, parce que pour l'obtenir, on part du gaz naturel. Donc pourquoi aller du gaz naturel vers l'hydrogène quand on peut brûler le CH₄ tout de suite ; au mieux on utiliserait la même quantité de CH₄ directement ou indirectement parce que l'état final et l'état initial sont les mêmes et la consommation d'énergie est la même. Dans ces conditions, la vraie question de l'hydrogène est sans doute de savoir quelle sera la future source qui pourra le produire. Beaucoup de travaux ont été effectués sur le solaire, et il y a des gens qui sont en train de travailler à la transformation directe du solaire en hydrogène. Cette transformation ne peut pas être immédiate parce que l'eau se transforme naturellement en hydrogène et oxygène à 3 000 °C, ce qui est beaucoup trop élevé. On doit donc créer une chaîne indirecte avec des étapes intermédiaires fonctionnant en boucle, agissant comme catalyseur, à des températures de 800 °C, et transformer la lumière solaire en hydrogène, qui est accumulé et utilisé comme un gaz naturel. L'efficacité de ce système est très élevée, plus de 50 %, du moins au laboratoire. La seconde possibilité, énergiquement soutenue par les Français, est celle d'une centrale nucléaire qui produit directement de l'hydrogène. Ce nucléaire doit être différent du nucléaire actuel car il doit supporter des hautes températures. Donc l'un des principaux constituants du réacteur de 4^e génération qui sera construit en France est son utilisation première pour faire un réacteur à gaz avec de l'hydrogène à 800 °C. Il produira un combustible chimique plutôt que de l'électricité. Donc on évite l'alternateur etc. Tout cela est bien sûr pour plus tard.

Un autre problème avec l'hydrogène est le transport. Il y a beaucoup à faire avant que cela ne devienne une réalité parce qu'un combustible chimique requiert une vente partout sur le terrain, ce qui est loin d'être quelque chose de réaliste pour l'hydrogène pour l'instant. Ensuite il faudra transporter, distribuer, etc., donc malheureusement consommer de l'énergie. En fait, un tiers de l'énergie va dans l'électricité, un tiers dans les applications industrielles et un tiers dans le transport, et ce dernier tiers est celui qui restera avec le pétrole.

Un participant. –

Si je vous comprends bien, il semble qu'ITER n'arrivera pas à temps puisque nous ne pouvons rien en attendre avant 50 ans. Ce sera donc un peu tard pour le «goulot d'étranglement» dans la production d'énergie. Y a-t-il un calendrier pour les autres sources d'énergie que vous avez décrites.

C. Rubbia. –

Je vais d'abord répondre par une citation de Churchill qui a dit que la démocratie est mauvaise mais que les autres systèmes sont pires ! Avant de dire que la fusion ne marchera pas, demandez-vous quels autres choix vous avez en dehors de la fusion. Le principal problème est que l'uranium 235 n'est pas très abondant dans la situation actuelle. Je pense que les jours meilleurs à venir dépendront de la fission parce que celle-ci a derrière elle 50 ans d'expérience et qu'un léger changement ne heurtera pas ces messieurs qui gèrent le système industriel de centrales nucléaires : quand on va vers un cycle fermé et qu'on fait ces réactions de surgénération comme indiqué dans ma présentation, vous avez un système beaucoup plus sophistiqué qui permettrait d'utiliser tout l'uranium appauvri dont vous disposez et qui est en très grande quantité, et il serait utilisé beaucoup plus efficacement parce que vous utilisez tout le matériau et non 0,7 %. Donc vous gagnez entre 150 et 200 fois la quantité de matériel dont vous avez besoin pour produire une certaine quantité d'énergie. Donc l'idée est d'utiliser un cycle fermé, avec la surgénération, et à mon avis, cette solution, dans le domaine nucléaire, n'est pas une étape majeure. Vous pouvez faire un surgénérateur demain si vous voulez, et le faire fonctionner sans problèmes majeurs. Il y a des questions de neutrons rapides ou lents et tout le reste, mais il y a encore un grand avenir pour la fission, et il n'est pas évident pour moi que la fusion sera gagnante. La fusion est plus compliquée, elle nécessite de monter à 500 millions de degrés et il y a deux points dont il faut se souvenir. Le premier est que la fusion n'est pas ce que les gens disent, en d'autres termes, ce n'est pas la réaction de base sur le soleil parce que la réaction sur le soleil est aneutronique - il n'y a pas de neutrons -, tandis que l'autre réaction produit du tritium. Le soleil fonctionne avec une réaction qui est principalement due à une interaction faible ; la fusion thermonucléaire est une interaction nucléaire. Donc la relation entre le soleil et la fusion est le fruit d'un malentendu total, à mon avis. Le second point est que les gens pensent que la fusion est propre, mais la fusion actuelle est aussi sale que la fission ; cependant, la fusion a le grand avantage d'apporter de la radioactivité à travers l'activation de produits et, par conséquent, elle est plus éphémère que l'autre système. C'est également le cas pour un système de fission qui fonctionne en cycle fermé, parce que dans le cycle fermé, les actinides ne sont pas des déchets : ils sont utilisés et brûlés. Les options sont donc nombreuses. A mon avis, il n'y a pas une solution qui soit meilleure, l'avenir décidera, pas le nôtre mais l'avenir de quelqu'un d'autre, et le fait est que nous ne devrions pas continuer à ne rien dépenser sur ce sujet. Le vrai problème est d'y mettre assez d'argent. J'ai dit au début que l'investissement dans le domaine de l'énergie est très faible. A quel point ? Les industries pharmaceutique, chimique, informatique, produisent normalement 15 ou 20 % des ventes sous forme de revenus utilisés pour démarrer de la R&D, donc la

R&D représente de l'ordre de 15 à 20 % du coût initial du produit. Quelle est la situation pour l'énergie ? La recherche privée et publique sur l'énergie se situe quelque part entre le tabac et les boissons, soit à 0,5 %. Nous dépensons donc aujourd'hui plus d'argent sur le tabac et le

coca-cola que nous en dépensons pour transformer une situation basée sur le pétrole en une situation qui soit basée sur des principes différents, le solaire, le nucléaire ou autre. Et vous vous rendez compte que cela coûte beaucoup plus cher.

La recherche sur l'énergie au CIEMAT et le projet de plate-forme solaire d'Almeria¹

Juan Antonio Rubio

Directeur du CIEMAT, Madrid

Tout d'abord je veux remercier les organisateurs de cette conférence et en particulier mon collègue Robert Klapisch pour son aimable invitation.

Le CIEMAT est le Centre espagnol de recherche sur l'énergie et l'environnement. Il y a trente ans, il était associé à la Commission espagnole à l'énergie atomique, mais depuis, son activité s'est diversifiée pour couvrir toutes les sources d'énergie, les problèmes environnementaux liés à la production d'énergie, également la recherche fondamentale, notamment dans les domaines de la physique. Nous voulions donc promouvoir la science fondamentale, et aussi toutes les technologies associées à ces développements avec leurs applications. Ces activités s'intègrent dans le cadre européen mais le CIEMAT a également dans l'idée de renforcer la collaboration avec l'Amérique latine et les pays méditerranéens, et c'est une des raisons pour lesquelles je suis ici aujourd'hui.

Ma présentation portera principalement sur l'énergie solaire thermique, en particulier l'installation solaire d'Almeria, puisque qu'on m'a demandé d'en parler un peu. Almeria est un nom arabe comme vous le savez et ce laboratoire est un des plus importants laboratoires au monde dans le domaine du solaire.

L'énergie solaire est manifestement une énorme source potentielle d'énergie. Elle est générée par le soleil avec une densité de rayonnement de d'ordre de 63 MW/m². Toutefois les contraintes géométriques entre le soleil et la terre conduisent à une diminution spectaculaire du flux de telle sorte que l'irradiance dépasse à peine 1kW/m². Donc si vous voulez produire de l'énergie dans des centrales solaires ou des applications à haute température d'énergie solaire, vous avez nécessairement besoin d'une concentration d'appareils, sinon vous n'obtenez pas ce que vous voulez. Plusieurs technologies sont utilisées pour concentrer l'énergie solaire (figure 1). Les technologies en deux dimensions concentrent l'énergie le long de lignes, tandis que les technologies en trois dimensions, comme le récepteur central et les disques paraboliques la concentrent sur un volume, un point. Dans les technologies en deux dimensions, il faut aussi mentionner les technologies de flux paraboliques.

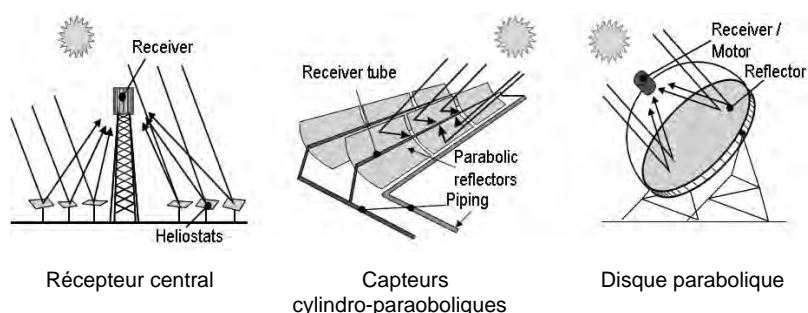


Fig. 1 : Concentration de l'énergie solaire : les trois technologies actuellement disponibles pour concentrer le rayonnement solaire

¹ Traduction de la transcription de l'exposé en anglais.

que, qui n'apparaissent pas sur la figure parce que le facteur de concentration est insuffisant et qu'elles ne sont pas principalement utilisées pour produire de l'énergie thermique. Le facteur de concentration est d'environ 100 pour les capteurs cylindro-paraboliques ; il peut atteindre 1 000 pour le récepteur central, et plusieurs milliers pour les disques paraboliques. Toutefois les disques paraboliques représentent un marché limité, principalement à cause du coût d'installation et du rendement du cycle thermique, et cette technologie est essentiellement utilisée pour des applications relativement modestes de quelques dizaines de kilowatts.

Les technologies les plus compétitives sont donc les capteurs cylindro-paraboliques et celles avec un récepteur central. Le capteur cylindro-parabolique a un grand avenir et pourrait même prendre la tête. On peut en mettre autant qu'on veut, il suffit d'ajouter de plus en plus de miroirs et on obtient de plus en plus d'énergie. Toutefois les températures qu'on peut atteindre se limitent à quelques centaines de degrés centigrades. En revanche, les receveurs centraux puissants peuvent atteindre des hautes températures de 1 000 degrés ou plus, mais ils sont limités dans leur taille à environ 50 MW. Bien sûr on peut aussi installer des receveurs centraux et avoir autant de puissance que nécessaire en ajoutant plus de réflecteurs. Ce sont là les technologies les plus compétitives, selon mes informations. La technologie des capteurs cylindro-paraboliques l'est un peu plus que celle du récepteur central, mais les deux technologies doivent encore être développées et nous verrons ce qu'il en adviendra.

Venons-en maintenant à la plate-forme d'Almeria. Je vais raccourcir ma présentation pour laisser la place aux questions. D'abord, Almeria fait partie du Central Investigación Energeticas Monumentales and Technologicas qui compte quelque 1 400 personnes et bénéficie d'un budget annuel de 150 millions d'euro. L'objectif de cette

plate-forme est de préparer des applications industrielles potentielles en concentrant l'énergie thermique solaire. La localisation de la plate-forme s'étend sur 103 hectares dans le désert de Taberna (Almeria). Le budget général du laboratoire est d'à peu près 10 millions d'euro. Pour ce qui est des ressources humaines, 100 personnes y travaillent, dont 20 font la navette entre Madrid et Almeria, et le personnel auxiliaire pour la maintenance de la plate-forme représente environ 50 % du personnel.

La plate-forme est née en 1977 dans le cadre d'une grande collaboration internationale, et dès 1981 a commencé à distribuer sa première électricité. En 1997 elle a été intégrée à une collaboration thématique avec le DER (Allemagne). En 1999 elle est devenue la dernière installation scientifique opérationnelle en Europe dans ce domaine. Depuis son démarrage, de plus en plus d'expériences ont été réalisées sur la plate-forme et des installations ont été ajoutées. C'est donc maintenant véritablement un grand laboratoire.

Voici les principales installations sur la plate-forme solaire d'Almeria (figure 2).

Les installations N° 1 sont des technologies de récepteur central avec deux tours ; celle de gauche fait 80 m de haut et a une puissance nominale de 7 MW, et celle de droite a une puissance nominale de 2,7 MW.

L'installation N° 2 est la technologie des capteurs cylindro-paraboliques, qui délivre 1,2 MW et est couplée à une installation à distillation multiple de 3 m³ par heure. Nous en reparlerons plus tard.

L'installation N° 3 est une installation de capteurs paraboliques pour production directe de vapeur qui est l'une des technologies développées sur la plate-forme. Cette installation a une puissance de 1,8 MW, peut délivrer 1 kg par seconde de vapeur à 100 degrés de température et sous 100 bars de pression, et peut produire de l'électricité tout de suite.



Fig. 2 : Vue générale de la plate-forme d'Almeria

L'installation N° 4 est un ensemble de disques paraboliques, chacun d'une puissance thermique de 50 MW, sur lequel nous avons pas mal d'expérience.

L'installation N° 5 est un four solaire, avec un champ de 100 m². Il a une puissance de 60 kW et, en la concentrant sur un rayon d'au total environ 28 cm sur une largeur d'environ 10 cm, on peut atteindre des températures de 3 000 degrés. Elle est principalement utilisée pour l'étude de la Terre et des matériaux et également pour le développement d'applications techniques.

L'installation N° 6 est une unité solaire de détoxification d'eau polluée. Il y a six collecteurs *compound* qui peuvent faire de la détoxification sur une surface de 40 m² et dans un volume de 500 litres. Il y aussi une autre installation de collecteurs paraboliques sur deux axes qui peut tester la détoxification sur un volume de quelque 5 000 litres par heures.

L'installation N° 7 est une usine de dessalement solaire : c'est une installation MED (*Multi-Effect Distillation* = distillation à effet multiple) couplée avec l'énergie solaire, et en fait nous visons à produire de l'eau pure à un prix d'environ 3 €/m³. C'est plus cher que l'osmose inverse, mais celle-ci dépendant essentiellement du coût de l'énergie, qui sait si la MED couplée au solaire ne pourrait pas devenir compétitive ?

L'installation 8 vise à tester les composants solaires et les bâtiments. Nous avons plusieurs cellules, de 5 à 16 m², avec un mur préparé pour tester les composantes architecturales : pertes thermiques, transmittivité optique, etc.

Enfin, il y a une sorte de station météo à l'entrée de la plate-forme d'Almeria, qui fait partie du réseau international de météorologie.

Pour écourter ma présentation, je n'entrerai pas dans le détail de chaque technologie, puisque C. Rubbia en a déjà fait une description, mais néanmoins, si vous avez des questions, je suis prêt à y répondre. Ce qu'il est important de savoir c'est que nous prévoyons maintenant de nous acheminer vers une fourniture massive d'énergie solaire. En ce sens, nous pensons, comme Carlo Rubbia l'a dit, que la concentration de la puissance solaire a un fort potentiel comme source d'énergie. Mais il faut que ce soit compétitif. D'abord le coût d'installation de l'énergie thermique solaire par kW/h est entre 2,3 et 3,5 fois celui d'une centrale à combustible fossile. Les coûts d'exploitation et de maintenance sont également 3 fois plus élevés que pour le combustible fossile. Pourtant nous pensons qu'il existe une marge pour la concurrence. Nous devons optimiser les miroirs, les tubes collecteurs et les revêtements ; nous devons optimiser les fluides - seule l'huile

est opérationnelle -, mais il y a aussi la vapeur d'eau et des gaz, donc il existe une bonne marge d'optimisation. Nous devons aussi optimiser les systèmes de contrôle qui sont très coûteux dans les installations. Nous devons optimiser les outils conventionnels pour la production d'énergie, et les adapter à la puissance que nous pouvons produire avec nos unités. Enfin, il y aura bien sûr une diminution du coût du fait de la fabrication en série des composants. Au total, nous pensons atteindre ce facteur 3 pour ce qui est du coût de fonctionnement. Le CIEMAT profite maintenant d'une législation favorable en Espagne pour lancer des projets d'unités d'environ 50 MWe, en collaboration avec les partenaires adaptés, et continue de construire les petites unités prototypes d'essai qui sont nécessaires.

Questions

Un participant. –

Combien de temps faut-il pour construire ces nouvelles installations de 50 MW auxquelles vous pensez ?

J.A. Rubio. –

Il y a déjà plusieurs projets en Espagne, principalement avec le pétrole. Il y a des centaines de projets, je dirais de 3-4 ans. Nous devons d'abord faire de la conception, ce qui prendra 6-9 mois, mais il y a déjà 10 installations qui sont prévues en Espagne, de 50 MW chacune, donc nous aimerions y incorporer les nouvelles technologies, ce qui prendra entre 4-5 et 10 ans

Un participant. –

Quel est le temps d'arrêt pour la maintenance ?

J.A. Rubio. –

Il n'y a pas de problème avec la maintenance en général avec les miroirs. Cela dépend où ils sont situés. Si c'est dans le désert, vous aurez un problème avec le soleil, et vous devrez nettoyer sans cesse les miroirs. A Almeria nous n'avons cependant pas de problème. D'ailleurs Almeria n'est pas le meilleur endroit pour l'ensoleillement : nous avons 3 000 à 3 200 heures d'ensoleillement par an, en fait seulement 6 jours de pluie par an. C'est suffisant, et c'est un bon endroit. Les îles Canaries sont le meilleur endroit, mieux qu'Almeria. Dans les pays d'Afrique du Nord vous avez de très bonnes conditions dans le désert à cause du soleil, mais vous devez nettoyer les miroirs continuellement.

Quel avenir pour l'énergie éolienne au Maroc ?¹

Driss Zejli, R. Benchrifa, A. Bennouna

Unité des technologies et économie des énergies renouvelables,
Centre national pour la recherche scientifique et technique, Maroc

Introduction

De l'avis de nombreux experts et même des compagnies pétrolières, la production de pétrole devrait atteindre le pic de production dans moins de vingt ans.

Pour faire face à la pénurie qui plane à l'horizon, les pistes à explorer ne sont pas nombreuses et l'une d'elles est le retour aux énergies renouvelables avec de nouvelles technologies pour répondre aux exigences du développement.

Le décollage des énergies renouvelables qui était attendu depuis des années semble bien avoir commencé.

Le cas de la technologie éolienne est très révélateur, puisqu'il témoigne des efforts payants entrepris par le Danemark et ensuite par l'Allemagne pour amener la technologie éolienne au succès qu'on lui connaît.

En fait, les éoliennes ont été les premières constructions énergétiques ayant été réalisées par l'homme et qu'elles ont accompagné durant des millénaires jusqu'au XIX^e siècle de notre ère, l'époque à laquelle l'éolienne a été détrônée par les combustibles fossiles apparus avec la révolution industrielle. Depuis lors, très peu d'éoliennes ont été construites ; de celles qui restaient, la plupart ont été abandonnées et ont disparu du paysage.

Ce n'est qu'à partir de 1973 que l'homme a redécouvert pour une autre fois l'énergie du soleil et celle du vent. Les deux chocs pétroliers, le spectre de la pénurie et le début de la prise de conscience à l'égard des dommages occasionnés à l'environnement par les énergies fossiles ont tous contribué au regain d'intérêt pour les énergies renouvelables auquel nous assistons.

L'énergie éolienne dans le monde

Si l'énergie éolienne était considérée il y a près de trois décennies comme la moins prometteuse des énergies renouvelables, la situation a considérablement évolué avec le haut degré de maturité atteint ces dernières années par la technologie des aérogénérateurs à axe horizontal et le prix devenu compétitif de ceux-ci. La puissance unitaire maximale des aérogénérateurs qui était de 10 kW à la fin des années soixante-dix a atteint 50 kW en 1984-85 puis 1,5 MW en 1996-97 ; actuellement cette puissance dépasse les 4 MW.

Le prix qui était de près de 0,3 €/kWh en 1980 se situe maintenant entre 0,025 et 0,05 €/kWh dans les sites *on-shore*.

Cependant, le bond que connaît actuellement l'éolienne est le fruit de l'essor remarquable que connaît l'électricité, et son développement a profité du cumul de connaissances enregistré dans plusieurs domaines dont notamment la météorologie, les machines électriques, l'aéronautique, la dynamique des structures, la chimie et la physique des matériaux et aussi l'électronique de puissance, d'où la multidisciplinarité de cette technologie.

Le nombre sans cesse croissant des aérogénérateurs qui se relie de par le monde à des réseaux électriques déjà établis témoigne du grand succès atteint par cette technologie (figure 1).

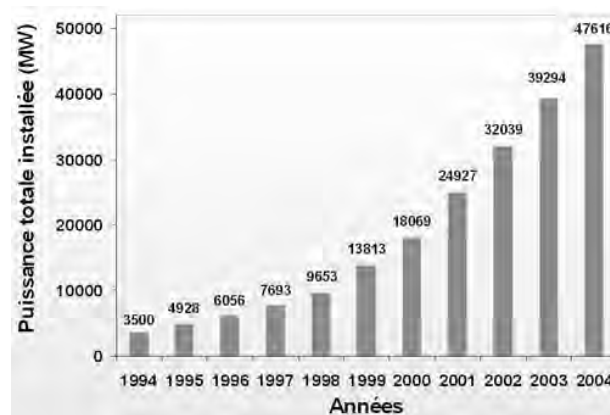


Fig. 1 : Evolution de la puissance électrique d'origine éolienne installée dans le monde

La plupart des aérogénérateurs modernes actuellement sur le marché sont tripales, le rotor étant maintenu dans une position face au vent. On appelle cette configuration la conception danoise tripale et elle tend aujourd'hui à constituer le standard.

¹ Texte original en français.

Les aérogénérateurs fonctionnent principalement selon deux modes suivant le choix de la génératrice. Certains aérogénérateurs fonctionnent avec une vitesse de rotation constante. Dans ce cas, le meilleur rendement se produit pour une seule vitesse de vent. Il est cependant possible de chercher à avoir un rendement maximal quelle que soit la vitesse du vent. Ceci peut être réalisé en faisant varier la vitesse de rotation du rotor ; ce qui permet d'atteindre une grande efficacité. Ces machines sont équipées d'un générateur multipoles et de l'électronique de puissance qui permettent à ces aérogénérateurs de fonctionner avec une vitesse variable.

L'éolienne au Maroc

Le Maroc s'est engagé depuis l'an 2000 dans le développement à grande échelle de l'énergie éolienne. Après deux projets totalisant 53 MW, l'ONE (Office national de l'électricité) projette l'installation de 320 MW : 140 MW dans la région de Tanger, 60 MW à Taza, 60 MW à Essaouira et 60 MW à Tarfaya.

Par ailleurs, la construction par le groupe Lafarge d'un parc éolien pour alimenter en électricité sa nouvelle cimenterie de Tétouan peut être considérée de son côté comme une première au Maroc. Il convient d'espérer que cette initiative exerce un effet d'entraînement sur d'autres opérateurs et acteurs économiques nationaux qui sont encore sceptiques à l'égard de cette forme d'énergie et ne croient pas encore à sa percée.

Peut-il exister un avenir pour l'énergie éolienne au Maroc ?

Le Maroc demeure en effet un pays en friche et le potentiel de croissance de l'économie nationale reste cependant très élevé ; une forte croissance de la demande d'électricité est donc bien en perspective. D'où le rôle moteur que peut jouer, dans l'économie marocaine, l'exploitation de cette richesse naturelle dont est généreux notre ciel, sans oublier également les retombées bénéfiques qu'elle peut avoir sur l'émergence d'un nouveau tissu industriel à fort potentiel de création d'emploi et de richesse.

Le potentiel éolien du Maroc, comme le montre la figure 2, est très important et la technologie de transformation de cette source d'énergie existe et elle est même compétitive. Ce qui manque le plus, c'est une volonté réelle de développement de cette forme d'énergie qui, qu'on le veuille ou non, aura sans aucun doute sa place dans le bouquet énergétique futur.

A quelques mois du 10^e anniversaire du processus de Barcelone, imaginons un projet aux objectifs ambitieux et à long terme. Ce projet aura à conjuguer les ressources et atouts des partenaires des deux rives. Il s'agirait du transfert de l'électricité d'origine éolienne du sud du Maroc vers l'Union européenne, comme l'illustre la figure 3.

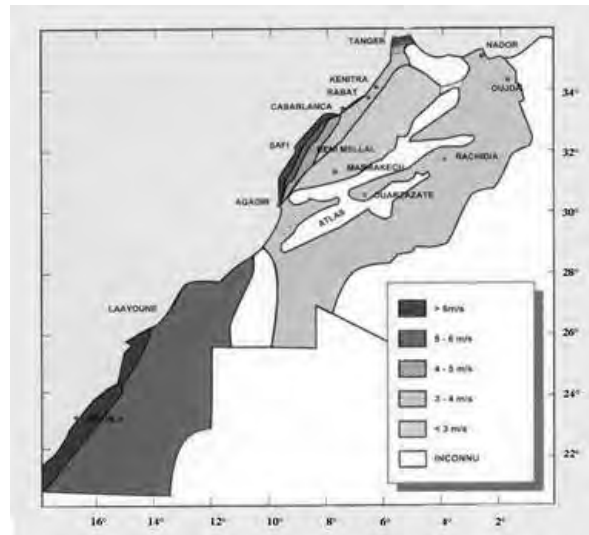


Fig. 2 : Carte éolienne du Maroc [1]



Fig. 3 : Partenariat Maroc-Union européenne dans le cadre du projet de transfert d'électricité

La région côtière du sud du Maroc compte parmi les régions les mieux ventées au monde. Elle est en effet dominée par les vents alizés qui sont connus par leur régularité et leur vitesse suffisamment élevée. Par ailleurs, en plus de sa faible densité démographique, une grande partie de cette région est constituée de plaines et de plateaux rocheux. Elle se prête alors bien à l'installation de grands parcs éoliens. Le Maroc peut ainsi produire dans cette région plus de 10 fois ses besoins actuels en électricité. Une grande partie de cette production peut être exportée vers l'Union européenne en utilisant la technique des lignes haute tension à courant continu (HTCC) permettant de réduire les pertes en ligne. Cette technique a déjà fait ses preuves dans de nombreux projets de transfert d'électricité à longue distance de par le monde.

Supposons qu'on aura à installer au sud du Maroc un parc de 10 000 km² de surface ; ce parc produirait, comme il ressort du tableau 1, l'équivalent de près de 200 TWh. C'est un peu moins de 10 % de la consommation européenne d'électricité.

Tableau 1 : Données générales sur le projet de transfert d'électricité

Surface du parc	10.000 km ²
Densité éolienne minimale	5 MW/ km ²
Puissance totale installée	50.000 MW
Production estimée	200 TWh (Consommation européenne : ~2.300 TWh)
Coût d'investissement maximal (Parcs éoliens + HTCC)	1.400 Euro/kW
Investissement total	70.10 ⁹ € (1,75 PIB _{Maroc} (2004))

En se basant sur les données rapportées dans le tableau 1, le coût du kWh tel qu'il est formulé par l'équation (1) serait de 0,05 €/kWh à l'arrivée du courant en Europe centrale. Il serait inférieur à celui du kWh d'origine éolienne, produit dans l'*offshore* européen et dont le coût est compris entre 0,06 et 0,09 €/kWh [2].

$$CGA = \frac{Inv.A(n) + C_{om}}{Pr} \quad (1)$$

$$A(n) = \frac{i.(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (2)$$

Inv : coût d'investissement total (1400 €/kW)
 C_{om} : coût annuel de maintenance et de fonctionnement (22,5 €/kW.an)
 A(n) : coefficient d'actualisation
 i : taux d'actualisation (10 %)
 n : durée de vie (20 ans)
 Pr : production annuelle d'électricité

Retombées socio-économiques et environnementales du projet de transfert d'électricité

Pour le Maroc

- Exportation d'un produit non périssable et de plus grande valeur ajoutée,
- Développement d'une nouvelle industrie,
- Offre d'énormes possibilités de création d'emplois,
- Valorisation de régions jadis non productives.

Pour l'Union européenne

- Augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation d'électricité européenne pour atteindre l'objectif de 21 % d'ici à 2010,
- Importation d'électricité d'origine renouvelable moins chère que celle produite localement,
- Emergence d'un marché potentiel pour les produits européens.

Pour l'ensemble de la région

- Augmentation du volume de l'échange économique entre les deux rives,
- Réduction du courant d'immigration clandestine.

Bibliographie

- [1] Centre de développement des énergies renouvelables, *Le Gisement éolien du Maroc*, 1995.
- [2] BONDUELLE A., LEFEVRE M., *Eole ou Pluton*, Rapport de Greenpeace, décembre 2003.

EUROGIA : le cluster Energie pour des solutions écologiques permettant de satisfaire une demande énergétique sans cesse croissante¹

Gabriel Marquette

Directeur des affaires européennes, Schlumberger
Président d'EUROGIA, *cluster* EUREKA pour l'énergie

EUROGIA est une initiative stratégique d'EUREKA² pour le développement durable et pour l'amélioration de la sécurité de l'approvisionnement en énergie dans la perspective d'un futur plus propre et plus sûr. Elle a été officiellement labellisée *cluster* (grand programme stratégique) EUREKA en mars 2004 et constitue ainsi le premier programme R&D européen dédié à l'énergie et à la «décarbonisation» de la chaîne énergétique.

La feuille de route d'EUROGIA est basée sur les priorités de recherche dans le secteur du pétrole et du gaz définies par les réseaux thématiques d'EUROGIF³ qui regroupent près de 200 acteurs de ce secteur de 17 pays européens (y compris la Russie). L'objectif d'EUROGIA est de mettre en action cette vision industrielle. EUROGIA est là aussi pour faciliter la réorganisation du secteur parapétrolier et paragazier afin d'affronter les défis nouveaux auxquels il est confronté et de saisir l'occasion historique que constitue le changement des modèles économiques vis-à-vis des opérateurs de pétrole et de gaz.

Contexte

Le développement durable est le défi d'un monde dont la population croissante espère de meilleures conditions de vie dans un environnement de plus en plus menacé. Le défi est de satisfaire les besoins énergétiques actuels sans compromettre les perspectives futures. Les solutions énergétiques à apporter doivent évoluer pour satisfaire ces besoins qui changent, tout en répondant aux préoccupations environnementales, en particulier le réchauffement climatique.

Pour satisfaire ses besoins croissants en énergie, le monde est passé du bois au charbon et du charbon au pétrole. Il passe aujourd'hui du pétrole au gaz, et, demain, il passera du gaz à l'hydrogène et aux énergies renouvelables. Ce processus évolutif est assez souvent appelé «décarbonisation énergétique».

En guise d'introduction, je ferai trois commentaires d'ordre général :

1. Les activités énergétiques sont maintenant régies par le principe du «développement durable» dans lequel le développement économique, la protection de l'environnement et la responsabilité sociale sont étroitement liés : «satisfaire les besoins actuels sans compromettre

la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins».

2. Les ressources renouvelables sont en pleine expansion, et dans certains pays, leur taux de croissance annuel atteint les 20 %. Cependant, même si cette croissance reste constante sur les 20 prochaines années, les énergies renouvelables ne satisferont en 2020 que 10 % de la demande actuelle en énergie.
3. La gestion des déchets est devenue un élément essentiel dans les nouveaux développements de production d'énergie ; les sous-produits résultant de la production énergétique doivent désormais soit être réutilisés, soit être stockés et éliminés en toute sécurité dans le gisement ou ailleurs.

Par conséquent, tous les problèmes techniques, économiques, environnementaux et sociétaux sont étroitement liés. On ne peut plus les étudier indépendamment les uns des autres.

Pour ce qui concerne les émissions de CO₂, c'est la combustion du charbon qui produit les émissions les plus importantes. Le pétrole occupe une position médiane et

¹ Texte original en français.

² EUREKA est l'initiative intergouvernementale d'aide à l'innovation européenne. Elle représente un réseau paneuropéen pour la R&D industrielle orientée vers le marché. EUREKA regroupe 35 pays, incluant, autour de la Méditerranée, tous les pays européens plus la Turquie et Israël, le Maroc ayant le statut de pays associé. EUROGIA est le premier *cluster* EUREKA pour l'énergie.

³ EUROGIF, le Forum européen de l'innovation dans le pétrole et le gaz, représente les intérêts de l'industrie parapétrolière et paragazière (plus de 2 000 compagnies employant directement 200 000 employés) qui pourvoit aux besoins des compagnies pétrolières et gazières. EUROGIF est impliqué dans 8 réseaux thématiques : QHSE (qualité, santé, sécurité, environnement), ICT (technologies de l'information), Structures flottantes, Production sous-marine, Gisements intelligents, Matériaux, Chaîne gaz, CO₂. La plupart de ces réseaux ont été financés par la Commission européenne (5^e PCRD). Ils rassemblent plus de 170 organisations (producteurs, fournisseurs, PME, instituts de recherche, universités) de 17 pays européens (y compris la Russie).

le gaz naturel est la source d'énergie fossile la moins polluante à cet égard (par exemple ses émissions de CO₂ sont moitié moindre que pour la lignite). Par conséquent, dans les décennies à venir, l'augmentation de la consommation de gaz naturel sera probablement le moyen le plus efficace de réduire les émissions de dioxyde de carbone, le temps que les technologies pour les énergies renouvelables se développent et soient plus largement utilisées. L'objectif à long terme est d'aboutir à ce qu'on appelle la migration vers l'«économie de l'hydrogène».

On prévoit que la demande en énergie augmentera de 60 % dans les 25 prochaines années et que les énergies fossiles représenteront toujours autour de 80 % de la consommation mondiale pour la même période. Cela induira directement, dans un scénario «*business as usual*», un accroissement potentiel de 60 % des émissions de CO₂. Afin de minimiser l'impact environnemental et climatique dans les prochaines décennies, il sera indispensable de mener une gestion efficace de l'exploration, de la production, du transport et de l'utilisation des énergies fossiles. Pour ce faire, il est donc impératif de développer et déployer des technologies avancées, à la fois sur le court terme et sur le moyen à long terme.

Dans l'Union européenne, l'effort en R&D de l'industrie pétrolière et gazière représente 33 % de l'investissement total dans le monde, qui est de l'ordre de 6 milliards d'euro par an (dont 43 % aux Etats-Unis - 2,5 milliards d'euro). Les producteurs de pétrole et de gaz externalisent de plus en plus leur R&D vers les industries du secteur parapétrolier et gazier. Ces dernières contribuent aujourd'hui à plus du tiers du budget mondial de R&D, et cette tendance s'accroît régulièrement. Il en résulte que les industries du parapétrolier et paragazier ont gagné en pouvoir et en responsabilité dans le choix et la conception des nouvelles technologies à développer pour répondre aux objectifs techniques et commerciaux en se conformant aux exigences en matière d'environnement, de sécurité et d'éthique.

Le secteur des industries du parapétrolier et paragazier représente 40 milliards d'euro de chiffre d'affaires annuel pour les Etats-membres de l'Union européenne plus la Norvège (dont 5 % sont investis chaque année dans la R&D), et il emploie directement plus de 200 000 personnes. Les investissements en R&D dans l'Union européenne dans ce secteur dépassent 700 millions d'euro par an (un chiffre équivalent à l'aide financière annuelle du Department of Energy américain à la R&D pétrolière et gazière américaine).

Objectifs

Pour faire face efficacement aux défis de la demande en énergie autant qu'à la concurrence avec l'Asie et les Etats-Unis, il faut satisfaire trois objectifs principaux :

- réduction maximale de l'impact climatique et environnemental ;

- compétitivité du secteur parapétrolier et gazier ;
- sécurité de l'approvisionnement en énergie.

Conception technique

Deux voies sont à poursuivre dans le développement d'une conception technique visant à réaliser ces trois objectifs :

- démonstration et utilisation de technologies dont la faisabilité est déjà avérée ;
- développement de solutions innovantes de haute technologie.

Les principaux domaines de recherche devraient être :

1. «*Décarbonisation*»

- L'optimisation et la promotion de la chaîne gazière auront un impact majeur sur la réduction des émissions de CO₂. Cela recouvre l'élimination du torchage, le traitement, la réinjection des contaminants, le conditionnement (liquéfaction), le transport (navires spécialement adaptés, gazoducs haute pression et isolés thermiquement), la conversion (turbines à gaz, microturbines, cellules à combustion).
- Captage et stockage du CO₂ : le stockage peut être soit statique (gazéification en eaux profondes) ou dynamique (récupération assistée du pétrole et du gaz, récupération du méthane provenant des mines de charbon)
- Réduction maximum des pertes en méthane : transport, mines de charbon abandonnées, réseaux de distribution d'énergie.

2. *Sécurité de l'approvisionnement en énergie*

Optimisation de la gestion des gisements et développement de nouvelles ressources fossiles :

- Exploration et exploitation des gisements en eaux profondes (< 3 000 m) : seuls 15 % des gisements *offshore* profonds ont été explorés à ce jour.
- Exploitation économique des champs de gaz.
- Optimisation de la gestion intégrée des gisements pour faire passer le taux de récupération de 35 % à 60 % dans les dix prochaines années : un gain de 1 % du taux de récupération équivaut à 2 ans de la consommation mondiale en énergie. Les technologies innovantes comme le *monitoring* et la caractérisation du gisement (en multi-dimensionnel, multi-échelle et dans le temps), le forage interactif, la complétion intelligente, seront essentielles pour atteindre cet objectif.
- Enfin, il faut prendre en compte les hydrocarbures non conventionnels : sables bitumineux, huiles lourdes, gaz de veines de charbon, gazéification des gisements de charbon, hydrates de méthane (les réserves d'hydrates de méthane sont estimées

à deux fois le reste des réserves documentées d'énergies fossiles !) terrestres ou des fonds marins (caractérisation, développement des procédés de récupération et de conversion).

Ces deux domaines, à côté de leur considérable impact potentiel sur l'émission de CO₂ et la sécurité de l'approvisionnement en énergie, offrent des perspectives majeures pour l'accroissement de la compétitivité des compagnies européennes dans un marché qui par nature est mondial.

EUROGIA : une partie de la solution de l'équation énergétique

Face au développement de la mer du Nord ces trente dernières années et face au transfert progressif des efforts de R&D des compagnies d'exploitation pétrolière et gazière vers les entreprises de service, les fournisseurs de technologies et les laboratoires de recherche, l'industrie du secteur parapétrolier et gazier européenne ont développé une capacité d'aborder de nouveaux défis comme les gisements en eaux profondes, l'optimisation du taux de récupération des champs matures, les hydrocarbures non conventionnels, la migration de gaz, etc.

Néanmoins, pour que cette industrie reste compétitive sur la scène mondiale (avec des produits et services qui soient des contributeurs nets à la balance commerciale), il faut accroître les efforts pour une intégration plus efficace. A cet égard l'initiative EUREKA s'est avérée fructueuse pour structurer la R&D au niveau européen et au-delà, dans des domaines de recherche spécifiques. Elle a aussi démontré que son approche «projets de recherche industriels» peut fédérer tous les acteurs-clés, en tirant profit, au-delà des frontières, de l'expertise des grandes, moyennes et petites entreprises, toutes bénéficiant du soutien de la recherche à la fois publique et privée.

EUROGIA est un outil à la disposition de l'industrie européenne pour contribuer au développement durable via :

- la croissance économique : un meilleur positionnement par rapport à la concurrence non européenne et un approvisionnement en énergie plus sûr pour l'Europe ;

- la qualité sociale : croissance soutenue de l'emploi, particulièrement pour les emplois hautement qualifiés, et attrait accru des études scientifiques, et ce pour augmenter notre visibilité dans le monde scientifique ;
- la protection de l'environnement : mise au point de meilleures technologies pour minimiser l'impact des activités industrielles sur l'environnement, pour réduire la production des gaz à effet de serre, pour accélérer le passage à l'économie de l'hydrogène, et pour contribuer à fournir des solutions rentables dans le secteur des énergies renouvelables.

Le principal objectif d'EUROGIA est d'initier les développements technologiques qui sont fondamentaux pour garantir une meilleure gestion des combustibles fossiles afin d'assurer les besoins mondiaux en énergie pour les prochaines décennies, tout en respectant la qualité de l'environnement et en facilitant le passage à l'économie de l'hydrogène et à l'utilisation des sources d'énergie renouvelable.

EUROGIA a pour ambition de mettre en pratique cette stratégie⁴.

⁴ EUROGIA gère deux ou trois appels d'offres par an. Les projets retenus ont pour mots-clés : approche «*bottom-up*», pilotés par l'industrie, orientés vers le marché. Les propositions de projets, évaluées par des experts internationaux suivant une procédure d'évaluation par pairs, doivent relever des deux domaines/six priorités qui constituent la colonne vertébrale d'EUROGIA :

- Sécurité de l'approvisionnement
 1. Exploitation plus efficace des champs matures
 2. Champs *offshore* profonds et ultra-profonds
 3. Ressources non conventionnelles
- «Décarbonisation»
 1. Passage au gaz naturel
 2. Capture du carbone, utilisation et stockage
 3. Migration vers l'économie de l'hydrogène

17 projets, rassemblant plus de 70 organisations de 11 pays et représentant un budget de 80 M€ ont déjà reçu le label EUROGIA.

Scénarios énergétiques durables en Méditerranée : situation actuelle et perspectives¹

Dominique Gentile

Directeur de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires

Samir Allal

Maître de conférence, université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

Contexte

Plusieurs exercices de prospectives énergétiques régionales ont été effectués ces dernières années. En effet, les énergéticiens ont l'habitude de se projeter dans le long terme et de décrire des images contrastées des situations de demande et d'offre nationales, régionales, mondiales d'énergie à différents horizons. Certains de ces exercices relèvent de la prévision et dessinent l'évolution énergétique la plus probable si les tendances observées dans la période récente se prolongent sur la période étudiée. D'autres qui relèvent de la prospective mettent en scène des images contrastées reflétant des contraintes et des politiques énergétiques elles-mêmes diverses et leurs conséquences en termes de demande et d'offre énergétiques, d'environnement, etc. à différents horizons temporels. D'autres enfin se fixent des objectifs normatifs à un horizon donné (par exemple diminuer les émissions de gaz à effet de serre de X % ou Y % d'énergies renouvelables à un horizon plus ou moins lointain) et mettent en scène les conditions techniques, économiques et organisationnelles nécessaires pour y parvenir à cet horizon.

Pour les pays méditerranéens, les exercices les plus récents et les plus significatifs au niveau régional sont ceux élaborés par l'Observatoire méditerranéen de l'énergie et le Plan bleu. Ces scénarios ont fait l'objet d'une présentation lors de la 4^e session de l'Université méditerranéenne d'été que nous avons organisée à Tunis du 11 au 13 juillet 2005 sur «Politique énergétique et développement durable en Méditerranée : défis et nouvelles solidarités».

En l'an 2000, les pays nord-méditerranéens (PNM), 45 % de la population de la région, ont consommé 74 % de la consommation totale d'énergie primaire. Un habitant des PNM a ainsi consommé plus de trois fois plus qu'un habitant d'un PSEM. Cet écart est de 1 à 12 entre le pays le plus consommateur d'énergie par habitant : la France avec près de 4 200 kep/hab et le plus petit consommateur, le Maroc avec moins de 350 kep/habitant (figure 1).

L'inégalité est encore plus marquée pour l'électricité, puisque l'écart a été de 1 à 4 entre le Nord et le Sud et 1 à 20 entre le plus grand consommateur, la France avec 9 000 kWh par habitant et le Maroc avec moins de 500 kWh par habitant (figure 2).

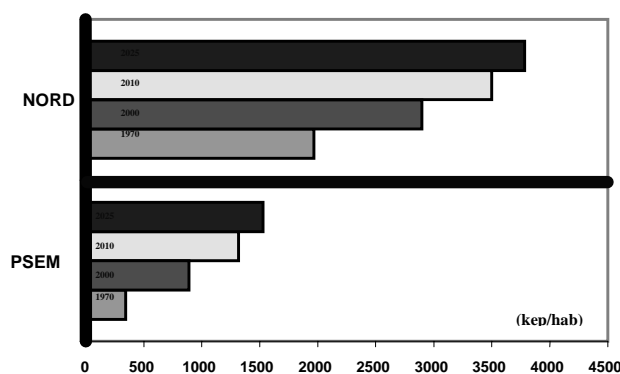


Fig. 1 : Consommation d'énergie par habitant en Méditerranée (1970, 2000, 2010, 2025). Source : OME, 2005

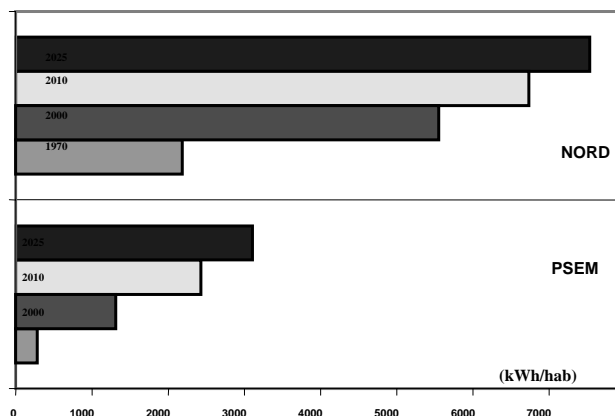


Fig. 2 : Consommation d'électricité par habitant en Méditerranée (1970, 2000, 2010, 2025). Source : OME, 2005

L'analyse de l'évolution passée de la consommation finale d'énergie dans les pays méditerranéens montre une très forte croissance de la consommation finale d'énergie des secteurs résidentiel (plus de 5 % de hausse par an entre 1974 et 1999) et du transport (croissance annuelle

¹ Texte original en français.

moyenne de l'ordre de 4%) du fait essentiellement de la croissance démographique, de l'urbanisation accélérée, de l'amélioration des niveaux de vie et de l'inefficacité des systèmes de consommation et de production d'énergie actuellement. Ces tendances, comme nous verrons ci-après (scénario «laisser-faire»), auront tendance à se poursuivre et s'accélérer dans les années à venir dans les PSEM si l'effort mis en place pour maîtriser l'évolution des consommations d'énergie n'est pas renforcé.

En ce qui concerne la structure des approvisionnements, force est de constater en Méditerranée une prédominance des hydrocarbures, une percée du gaz naturel et une participation marginale des ENR au bilan énergétique de la région (figure 3). En effet, en 2000, les énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) dominent l'approvisionnement énergétique dans la région avec plus de 75 % de la consommation au Nord, 96 % au Sud et à l'Est. Cette dynamique devrait se poursuivre au cours des prochaines années, confirmant la prédominance des énergies fossiles qui couvriraient encore 87 % des consommations énergétiques en 2025 (scénarios tendanciels des pays) ; le pétrole représenterait 40 % du bilan avec des conséquences non négligeables sur le climat. Ce qui souligne l'importance de l'effort de décarbonisation des systèmes énergétiques euro-méditerranéens à fournir pour atteindre les objectifs de développement durable dans la région (figure 4).

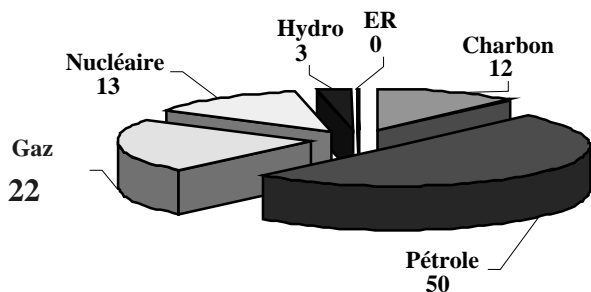


Fig. 3 : Structure de la demande d'énergie par source en Méditerranée (2000 - 830 Mtep). Source : OME, 2005

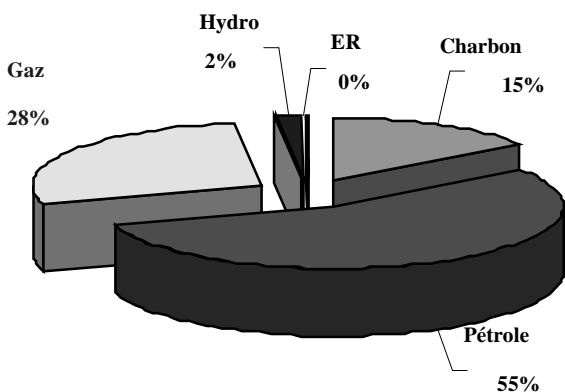


Fig. 4 : Structure de la demande d'énergie par source dans les PSEM (2000 - 228 Mtep). Source : OME, 2005

Importance de la croissance démographique au Sud de la Méditerranée

Sur le plan démographique et sur une période de 25 ans (2000-2025), la population des pays sud et est-méditerranéens (PSEM) devra passer de 242 millions d'habitants en 2000 à près de 340 millions en 2025, soit un accroissement de 40 % sur la période, ce qui est considérable notamment en termes de besoins énergétiques associés. Dans les PNM, la dynamique démographique est beaucoup plus faible et la population devra presque se stabiliser aux alentours de 206 millions en 2025 (contre 201 millions en 2000) (figure 5).

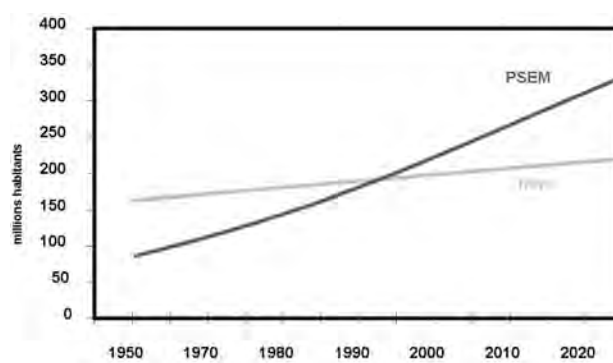


Fig. 5 : Evolution démographique en Méditerranée. Source : Plan Bleu, OME, 2005

Conséquences en termes énergétiques : scénario tendanciel OME

L'OME a établi pour l'ensemble du Bassin méditerranéen un scénario de base à l'horizon 2025. Ce scénario baptisé «tendanciel» est fondé sur les orientations telles qu'elles ont été définies dans les stratégies énergétiques des pays méditerranéens, tenant compte de leurs évolutions démographique et économique. Il permet de disposer d'une projection, pays par pays, du niveau des demandes d'énergie primaire et de la structure par source. Ce scénario est un scénario non soutenable dans lequel il n'y a pas d'infléchissement notable de l'évolution de la consommation, vers une priorité accordée à la sobriété énergétique. Même si ce scénario intègre la poursuite d'un certain progrès technologique «tendanciel» (baisse de l'ordre de 0,9 % par an de l'intensité énergétique). Selon ces projections, la demande totale en énergie primaire dans l'ensemble du Bassin méditerranéen pourrait atteindre environ 1400 Mtep en 2025 (figure 6). Par rapport à 2000, l'accroissement serait de l'ordre de 500 Mtep, soit +65 % sur la période et +2,1 % en moyenne par an, pour une croissance moyenne annuelle du PIB de 2,7 % par an dans l'ensemble du Bassin méditerranéen. Les

PSEM devraient connaître des taux de croissance de leur demande énergétique quatre fois plus élevés que les PNM d'ici à 2025, correspondant à un accroissement de +350 Mtep, soit +3,8 % par an entre 2000 et 2025 contre +200 Mtep, soit +1,2% par an dans les PNM. La Turquie deviendrait en 2025 le deuxième plus gros consommateur d'énergie en Méditerranée. La part relative des PSEM dans la consommation totale d'énergie en Méditerranée passerait ainsi de 10 % en 1970 à 40 % en 2025.

Ce scénario tendanciel aboutit surtout à une croissance spectaculaire de la demande d'électricité dans la région. En effet, l'énergie primaire commerciale est consommée en premier lieu pour produire de l'électricité (34 % en moyenne, qui pourraient atteindre 40 % en 2025). C'est la forme d'énergie qui a connu la plus forte croissance ces dernières années, avec le développement du secteur industriel (nouveaux *process*, robotisation..) et l'amélioration du niveau de vie dans le secteur résidentiel (électroménager, climatisation..).

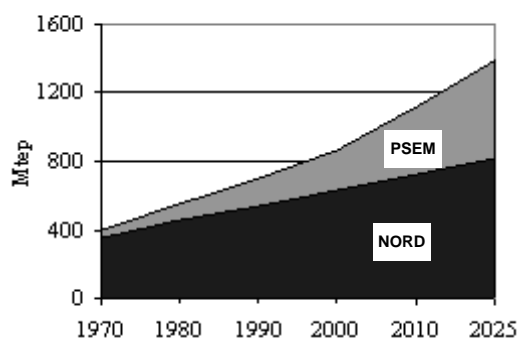


Fig. 6 : Scénario tendanciel : consommation d'énergie primaire en Méditerranée. Source : OME, 2004

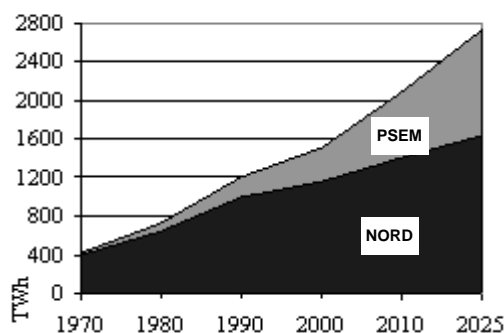


Fig. 7 : Scénario tendanciel : consommation d'électricité en Méditerranée. Source : OME, 2004

La consommation électrique totale des pays méditerranéens a plus que triplé pendant les trois dernières décennies pour atteindre près de 1 500 TWh en 2000, avec un taux de croissance annuel moyen entre 1971 et

2000 (+4,5%), bien supérieur à celui de la consommation énergétique primaire ou à celui du PIB. Dans ce scénario tendanciel, les fortes croissances des consommations électriques se poursuivront, pour atteindre environ 2 800 TWh d'ici à 2025 (correspondant à une croissance de +2,5% par an), avec un triplement possible de la consommation électrique dans les PSEM d'ici à 2025 (figure 7.). Toujours selon ce scénario, dans tous les pays les consommations d'électricité par tête progressent fortement pour atteindre en 2025 en moyenne plus de 8 500 kWh/habitant dans les PNM, mais seulement 3 400 kWh/habitant dans les PSEM. L'écart entre les pays des deux rives de la Méditerranée se réduit, mais reste tout de même important, de 1 à 2,5.

Ce scénario tendanciel, anticipant une très forte croissance de la demande, incite à considérer deux grands types de risques qui pourraient conduire à réorienter les choix énergétiques actuels en Méditerranée :

- le premier, à caractère géopolitique et socio-économique, concerne l'insécurité croissante des développements énergétiques des pays méditerranéens liée à la question de l'accès à l'énergie des générations présentes et futures ;
- le deuxième est relatif à l'aggravation prévisible des impacts de la production et de l'utilisation de l'énergie sur l'environnement et la santé.

Face à ces risques, les stratégies en faveur d'un développement énergétique plus durable en Méditerranée sont souhaitées. Celles-ci devront être basées sur l'efficacité énergétique tant du côté de l'offre que du côté de la demande, ainsi que sur le développement à grande échelle des énergies à faible teneur de carbone. En effet, l'importance du décrochage économie/émission nécessaire dans la région ne pourra être atteint que par la conjonction de nombreuses évolutions portant à la fois sur les modes de vie, de production et de consommation, sur la nature des infrastructures (urbanisme, transport,...), sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et le recours à des technologies non carbonée. La question qui se pose est la coordination euro-méditerranéenne de l'effort nécessaire et les politiques publiques à mettre en œuvre au déploiement de telles stratégies durables pour la région.

Scénario durable pour la région

A titre d'illustration, l'OME a tenté de quantifier les bénéfices de telles orientations, au moyen d'un scénario volontariste qui se distinguerait du scénario de base par :

- l'exploitation d'un gisement d'économies d'énergie possibles de l'ordre de 20 à 25 % de la demande totale en énergie, gisement tout à fait «réaliste» compte tenu des techniques actuellement disponibles ;
- un développement plus rapide des énergies renouvelables : 15 % du bilan primaire en énergie en 2025 (hors biomasse) (contre 8 % dans le scénario tendanciel) et

40 % de la production électrique (contre 20 % dans le scénario tendanciel).

Ces objectifs ont été différenciés selon les pays. La comparaison des résultats des deux scénarios (tendanciel et volontariste) donne ce qui suit :

- une intensité énergétique baissant deux fois plus vite, au rythme de 1,6 % par an ;
- une économie d'énergie de 208 Mtep/an à l'horizon 2025, équivalent environ à la moitié de l'accroissement prévisible des demandes entre 2000 et 2025. 60 % de ce gisement concerne les PSEM et 40 % les PNM (figure 8) ;
- une baisse de 20 points de l'indice de dépendance moyen des pays méditerranéens par rapport au scénario tendanciel en 2025. Globalement, pour l'ensemble du Bassin, il passerait de 34 à 18 % entre 2000 et 2025, alors qu'il atteindrait 38 % dans le scénario de base en 2025 ;
- des économies financières importantes : estimées à 450 milliards de dollars sur la période ;
- des réductions notables des émissions de CO₂ liées aux activités énergétiques des pays méditerranéens, de l'ordre de 25 %.

Bien évidemment, ces ordres de grandeurs n'ont aucune valeur prédictive. Ils soulignent simplement les marges de manoeuvre considérables du côté de la sobriété énergétique. Ils illustrent également, de manière quantitative, les enjeux considérables de stratégies alternatives possibles qui réduisent simultanément la vulnérabilité

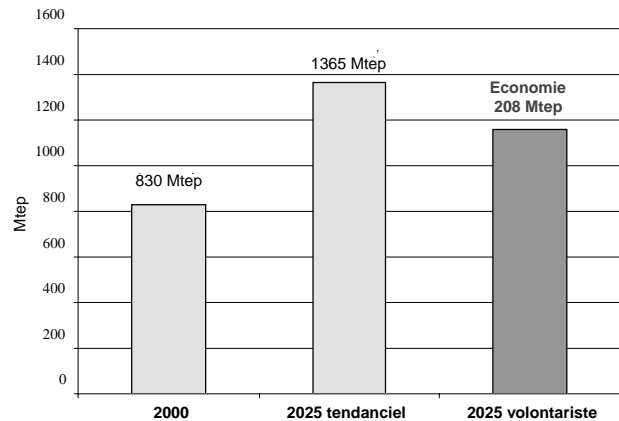


Fig. 8 : Scénarios tendanciel et volontariste : consommation d'énergie primaire en Méditerranée. Source : OME, 2004

à plusieurs risques géopolitiques, socio-économiques et environnementaux...

Ce scénario volontariste montre aussi clairement l'enjeu d'agir très rapidement. Compte tenu de l'inertie des systèmes énergétiques et de l'irréversibilité de certaines infrastructures, les choix d'aujourd'hui sont décisifs. Quels que soient les scénarios envisagés et au-delà des politiques nationales, la coopération, et en particulier la coopération euro-méditerranéenne, peut jouer un rôle très important pour favoriser le développement de tels scénarios durables pour la région.

Session 3

Participation des chercheurs du Sud aux projets internationaux : SESAME

Responsable de la session :

Herwig Schopper

Président du Conseil de SESAME, Genève

Ancien directeur général du CERN

SESAME - Rayonnement synchrotron pour les sciences expérimentales et appliquées au Moyen-Orient¹

Herwig Schopper

SESAME est un centre international de recherche en cours d'installation à Allaan (Jordanie), à 30 km d'Amman, inspiré du modèle du CERN. Il encouragera la science et la technologie au Moyen-Orient en mettant à disposition une installation de rayonnement synchrotron qui pourra être utilisée pour la recherche dans de nombreux domaines, par exemple, la physique, la recherche sur les matériaux, l'environnement, l'archéologie, la biologie et même la médecine. En même temps, il offrira de très précieuses opportunités de développer, dans cette région troublée, la coopération et la solidarité à travers des efforts conjugués pour la science. A long terme, il contribuera à établir une base de savoir-faire qui sera indispensable pour aborder des problèmes plus généraux de la région.

Ses deux principaux objectifs sont les suivants :

1. Promouvoir la science, la technologie et les applications dans la région
2. Créer la confiance et améliorer la compréhension mutuelle entre des partenaires de traditions, religions et mentalités différentes («la science pour la paix»)

Ces objectifs seront atteints :

- en créant un centre d'excellence pour la recherche interdisciplinaire ;
- en encourageant la collaboration scientifique internationale, avec pour critère principal l'excellence scientifique ;
- en formant des scientifiques, des étudiants, des techniciens et même des administrateurs ;
- en attirant des scientifiques qui travaillent à l'étranger (l'inverse de la fuite des cerveaux) ;

- en encourageant le développement des applications et l'industrie de haute technicité.

Les sources de rayonnement synchrotron sont devenues des outils extrêmement utiles pour la recherche dans le monde entier. Elles sont importantes pour le développement à long terme des pays : amélioration des conditions générales de vie, réduction du chômage et éducation. Même une petite fraction (1 à 2 %) des fonds dépensés pour des problèmes à court terme (par exemple les infrastructures pour les routes et l'eau) suffirait pour de tels projets à long terme.

Comme le CERN, SESAME a été créé sous les auspices de l'UNESCO en tant que laboratoire international indépendant, par décision du Bureau exécutif de l'UNESCO (printemps 2002). Celui-ci a qualifié SESAME de «projet UNESCO type, alliant création de capacités et construction vitale de la paix par la science» et le décrivant comme un «... projet modèle pour d'autres régions». L'UNESCO est le dépositaire des statuts de SESAME. Ces statuts sont entrés en vigueur en avril 2004 lorsque six pays ont notifié au directeur général leur souhait de rejoindre le Centre et leur adhésion aux statuts.

De 1999 à l'entrée en vigueur des statuts en avril 2004, un certain nombre de pays ont pris part aux travaux du Conseil provisoire qui avait été mis en place pour prendre les mesures nécessaires à la préparation de la création du Centre, soit en tant que membres soit

¹ Traduction du texte original en anglais.

en tant qu'observateurs de ce Conseil provisoire. Après la reconnaissance officielle du Centre par l'UNESCO en avril 2004, la plupart des pays qui avaient pris part au Conseil provisoire ont confirmé leur statut de membres de ce qui est devenu alors le Conseil permanent de SESAME. Il s'agit du Bahreïn, de l'Égypte, d'Israël, de la Jordanie, du Pakistan, de l'Autorité palestinienne et de la Turquie. Pour quelques pays, à savoir le Maroc, Chypre et l'Iran, le processus est toujours en cours. L'Irak a récemment demandé à devenir membre. L'Allemagne, la Grèce, l'Italie, le Koweït, la Fédération de Russie, la Suède, les Emirats Arabes Unis, le Royaume-Uni et les Etats-Unis sont observateurs. La France, l'Espagne et le Japon devraient également devenir observateurs sous peu. D'autres pays ont exprimé leur intérêt pour devenir membres.

Le choix de la Jordanie comme pays hôte a été motivé par l'assurance que tous les scientifiques du monde pourraient accéder librement au Centre, et par l'engagement du gouvernement de Jordanie de fournir le terrain, les bâtiments existants sur le terrain, ainsi que le financement de la construction du bâtiment destiné à abriter l'équipement. Sa Majesté Abdullah II, roi de Jordanie, soutient le projet avec force. La Jordanie et SESAME ont signé un accord concernant le siège de SESAME, lui garantissant des privilèges similaires à ceux reconnus au CERN par ses Etats hôtes, par exemple des salaires exemptés de taxes. Un accord de coopération tripartite a été signé entre la Jordanie, le CERN et SESAME.

En devenant membre d'une organisation internationale, certains pays doivent acquérir des mentalités nouvelles. Ils doivent apprendre à être «propriétaires» d'un Centre qui n'est pas nécessairement situé dans leur pays. Tous les membres, indépendamment de leur appartenance géographique, ont les mêmes droits pour ce qui concerne la prise de décision (définition des programmes, nomination de directeurs, etc.), l'utilisation, le recrutement du personnel et les contrats industriels.

Un modèle conceptuel de la machine, avec une énergie finale de 2,5 GeV, a été accepté. Elle utilise des éléments de l'anneau de stockage et du système d'injecteurs de la machine BESSY I, arrêtée à Berlin à la fin de novembre 1999, et qui ont été donnés par le gouvernement allemand. Ces éléments ont été acheminés d'Allemagne en Jordanie, où ils restent sous la garde du ministère jordanien de l'Éducation le temps que la construction du Centre soit achevée. Des financements pour la mise à niveau de la machine sont en cours de négociation avec l'Union européenne. SESAME sera un équipement de rayonnement synchrotron de 3^e génération parfaitement compétitif, comparable à bien des machines similaires dans le monde, mais ce sera la première machine de ce type en région méditerranéenne et au Moyen-Orient.

Les travaux de construction du bâtiment destiné à abriter le Centre ont commencé en août 2003 et doivent se terminer à l'automne 2006. L'installation du système d'injecteurs commencera aussitôt.

Les lignes de faisceaux pour la première phase d'exploitation ont été définies en étroite collaboration avec les utilisateurs potentiels. Les contacts avec la communauté d'utilisateurs sont assurés par quatre comités consultatifs (Comité des lignes de faisceaux, Comité scientifique, Comité technique, Comité pour la formation), qui ont organisé un certain nombre de colloques d'utilisateurs et d'ateliers. Les lignes de faisceaux devront être financées hors budget normal. On cherche actuellement des financements pour l'équipement des lignes de faisceaux auprès d'autres organisations comme l'IAEA (International Atomic Energy Agency). Des membres de SESAME ont exprimé leur intention de prendre la responsabilité de lignes de faisceaux particulières. D'autres laboratoires, comme le SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) aux Etats-Unis, et le LURE (Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique) en France fourniront également des éléments de lignes de faisceaux provenant de machines déclassées.

Le Centre est géré par un directeur (le Ministre Kh. Toukan, Jordanie), un directeur administratif (H. Helal, Égypte), un directeur scientifique (A. Baig, Pakistan) et un directeur technique (G. Vignola, Italie). Un petit noyau de personnes travaille également sur la mise à niveau de la machine. Il s'agit de spécialistes des accélérateurs de la région, formés dans des laboratoires de rayonnement synchrotron en Europe et aux Etats-Unis.

L'organe dirigeant du Centre est un Conseil international présidé par H. Schopper (Allemagne) et deux vice-présidents (Dincer Ulkü, Turquie, et Fawzy Elrefaie, président de l'Académie des sciences égyptienne).

La formation est l'un des principaux objectifs de SESAME, en particulier :

- la formation de jeunes scientifiques et ingénieurs de la région pour la construction et l'exploitation de la machine ;
- la formation de scientifiques pour la conception, la construction et l'exploitation des lignes de faisceaux ;
- la formation des utilisateurs potentiels.

Dans ce but, l'IAEA, l'ICTP, les Etats-Unis, le Japon et quelques laboratoires ont mis à disposition des bourses d'études et autres aides. Parmi 100 candidats de la région, 20 ont été sélectionnés pour passer un an ou plus dans des laboratoires européens comme Daresbury (Royaume-Uni), LURE (Paris), ESRF (Grenoble), ANKA (Karlsruhe), SLS (Villigen), Elettra (Trieste), DESY (Hambourg), Max-Lab (Lund). Huit experts ont été invités pour des séjours dans des laboratoires aux Etats-Unis financés par le DOE (Department of Energy). Un nouveau programme de formation est en cours de discussion avec l'IAEA, pour lequel 9 scientifiques ont déjà été sélectionnés parmi 32 candidatures. L'European Scientific Institute a admis 9 chercheurs issus des membres de SESAME à la Joint Universities Accelerator School (JUAS 2005) à Genève, et, l'expérience ayant été positive, ils ont proposé d'admettre d'autres jeunes scientifiques pour la session 2006.

Le National Synchrotron Radiation Research Centre (NSRRC) à Taiwan a créé trois bourses d'études en 2005, et, compte tenu des résultats satisfaisants, ils ont offert de poursuivre le programme en 2006.

Plusieurs ateliers ont été organisés dans différents domaines, et des colloques d'utilisateurs ont lieu régulièrement pour garder un contact étroit avec la communauté des utilisateurs potentiels.

En conclusion, on peut dire que SESAME a dépassé le point de non retour, même si quelques problèmes res-

tent encore à régler. La machine SESAME devrait être opérationnelle en 2009. Plus la réalisation du projet prend forme, plus on observe d'intérêt et d'enthousiasme parmi non seulement les utilisateurs potentiels mais aussi les organismes de financement.

On espère que le Maroc prendra une décision positive pour rejoindre SESAME dans un futur proche, et le Maroc pourrait même jouer un rôle important dans la coordination des activités dans d'autres pays d'Afrique du Nord.

Le programme scientifique de SESAME, un exemple de transfert de connaissances¹

Samar Hasnain

Molecular Biophysics Group & North West Structural Genomics Centre, Daresbury

C'est pour moi un réel plaisir d'être ici au Maroc, et je voudrais donner déjà ma conclusion qui est qu'il est essentiel pour des pays comme le Maroc de devenir membres de SESAME s'ils ont quelque aspiration de rendre leur pays indépendant des autres, autant que de construire une infrastructure compatible avec une économie fondée sur le savoir.

Ce que je veux montrer dans cette présentation, c'est en quoi SESAME est un véritable exemple de transfert de connaissances, des pays qui savent construire et exploiter des sources de rayonnement synchrotron vers des pays et régions où ce n'est pas du tout le cas. Le Pr Schopper nous a dit que les sources de rayonnement synchrotron poussent comme des champignons - elles ressemblent en effet à un chapeau de champignon comme vous le verrez sur diverses images. Jusqu'à une époque très récente, je dirais il y a 10 ans et quelque, elles étaient le privilège des pays industrialisés, ou scientifiquement avancés comme certains préfèrent les appeler. Ces dix dernières années, elles sont devenues beaucoup plus un symbole de l'aspiration de pays qui sont ce que nous appellerions des économies émergentes, et je vous en donnerai quelques exemples au fur et à mesure.

Je commencerai par la dernière diapositive que G. Vignola a montrée (figure 1). Je crois que l'équipe de SESAME a travaillé très dur et peut être fière qu'on essaye de monter une source de rayonnement synchrotron au Moyen-Orient - où il n'y a aucune installation de ce type, de même qu'en Afrique. Pour une source de troisième génération, comme nous l'avons vu dans l'exemple

de G. Vignola, les caractéristiques sont identiques, même en termes d'émission, à celles de l'installation en cours de construction au Canada.

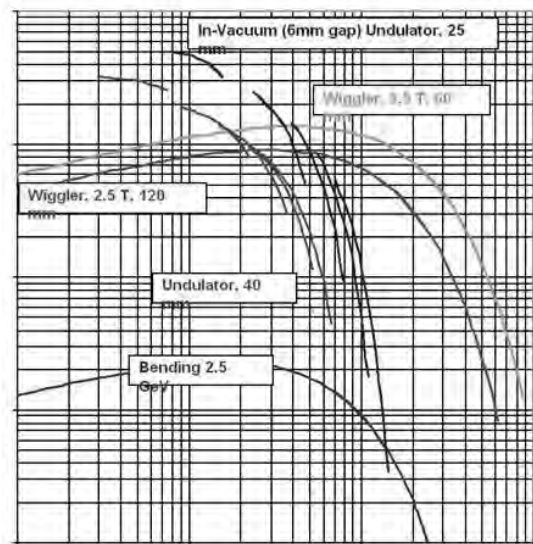


Fig. 1 : Flux de radiation à partir des différentes sources SR de SESAME 2,5 GeV. Les chiffres dans les cases sont les longueurs en mm des périodes des éléments correspondants.

¹ Traduction de la transcription de l'exposé en anglais.

Pour vous donner une idée de ce dont nous parlons, la première source de rayonnement a commencé avec des machines à électrons comme Desy, Mina, Frascati et à Stanford ; elles ont commencé avec l'exploitation d'aimants de courbure. Les aimants de courbure dans la partie incurvée ont déjà produit 6 ordres de magnitude de rayons X de plus qu'il n'est possible avec les sources conventionnelles (figure 2). Les sources de seconde et troisième générations sont basées avant tout sur ce que nous appelons des dispositifs d'insertion, à savoir des onduleurs. Plus récemment, des onduleurs sous vide ont été expérimentés par les sources de rayonnement synchrotron japonaises et ceux-ci sont maintenant utilisés avec d'autres sources. L'ambition de SESAME est sans aucun doute d'en acquérir dans la phase 1 des lignes de faisceaux. Pour les onduleurs, on parle d'environ 11 ordres de magnitude, en termes de brillance, disponibles dans le domaine des rayons X. Beaucoup d'entre vous savent pourquoi le domaine des rayons X est important et je vais vous montrer quelques exemples qui démontrent de manière graphique l'augmentation de la brillance en fonction de la source, depuis le tube à rayons X à anode rotative.

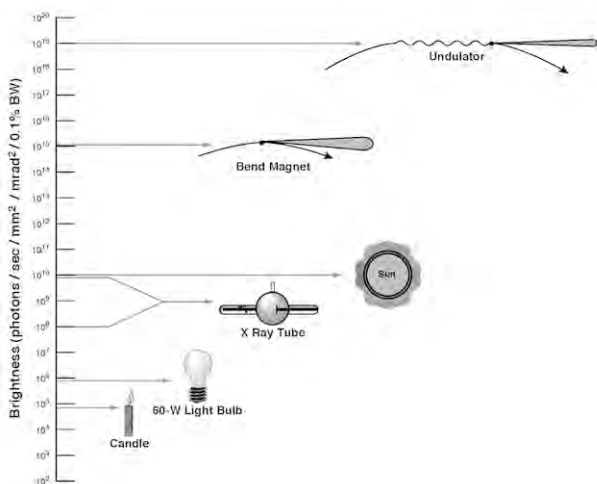


Fig. 2

Une des beautés des sources de rayonnement synchrotron est que ce sont vraiment des centres interdisciplinaires. Pour montrer un exemple d'installation développée, regardons une des premières sources de rayonnement synchrotron dédiées aux rayons X à Daresbury, où je travaille. Les zones ombrées (figure 3) sont des équipements à rayons X. Celles qui n'ont pas ce que nous avons appelé des huttes à rayons X utilisent l'ultraviolet du vide (VUV) et les rayons X mous. Les rayons X sont avant tout utilisés en science de la matière et en sciences biologiques, et bien sûr en sciences de l'environnement, tandis que l'ultraviolet du vide et les rayons X mous sont utilisés pour les sciences moléculaires et atomiques et les sciences des surfaces. Vous voyez donc que les biologistes, les scienti-

fiques de la matière et les physiciens travaillent tout près les uns des autres et leur savoir mutuel se transfère simplement par proximité. Ce sont donc de véritables centres interdisciplinaires et c'est la raison du succès et de l'expansion des équipements de rayonnement synchrotron comme infrastructure scientifique de base.



Fig. 3

J'en reviens à mon premier point : il y a actuellement 54 sources de lumière opérationnelles dans 19 pays, et ce n'est plus une priorité des pays scientifiquement développés. Beaucoup de pays s'y sont mis. Un des premiers a été l'Inde, où feu Indira Gandhi avait décidé que le rayonnement synchrotron ferait partie du développement de la région d'Indore. Le Brésil a développé une installation de rayonnement synchrotron très fructueuse à Campinas. La Chine exploite une telle source et a récemment donné son accord pour une source de troisième génération à Shanghai. Et bien sûr, Singapour, la Corée, Taiwan et la Thaïlande ont tous des sources de troisième génération, qui ont été considérées comme faisant partie de l'infrastructure essentielle au développement d'une économie fondée sur le savoir. Dix installations extraordinaires sont en construction, dont SESAME, et aussi en Espagne, au Royaume-Uni, en Australie et en France. Les caractéristiques de la source espagnole sont très similaires à celles développées en Jordanie.

Les prix Nobel décernés pour des travaux utilisant les rayons X donnent une idée de l'impact qu'on en a eu les rayons X. Depuis les débuts du Nobel, 18 prix ont été décernés parmi les scientifiques ; on a des physiciens, des médecins et des chimistes, et toutes ces disciplines majeures bénéficient de la disponibilité des rayons X.

Plus récemment, deux prix Nobel ont été décernés pour des expériences de rayonnement synchrotron menées ces dix dernières années. Le dernier en date a été attribué à Roderick MacKinnon. Son premier résultat expérimental

tal a été obtenu le 23 décembre 1997, et le prix Nobel lui a été décerné en 2003, soit une reconnaissance extrêmement rapide. Ces travaux ont été réalisés sur deux sources de rayonnement synchrotron, le CHESS à Cornell qui est une source de première génération, et le NSLS à Brookhaven qui est une source de seconde génération.

Le prix Nobel précédent avait été décerné en 1997 à Sir John Walker pour la découverte de la F1-ATPase, de sa structure et de son mécanisme de formation. Ces travaux ont été réalisés au SRS à Daresbury qui est une source de deuxième génération.

Je vous fais juste remarquer que ces deux prix Nobel ont été obtenus avec des sources de première et deuxième générations. Souvenez-vous en car je soulignerai ce point dans le contexte des performances de SESAME.

Comme nous l'avons entendu, le rayonnement synchrotron et les rayons X ont eu un impact considérable en biologie structurale. Depuis les premières recherches effectuées sur l'hémoglobine, récompensées par des prix Nobel il y a une trentaine d'années, la taille de ces structures a augmenté. La structure des virus a pu être déterminée en 1985, et celle du nucléosome et du ribosome en 1995 ; la taille et la complexité de ces structures deviennent énormes. Vers 1970 il était inconcevable qu'on puisse jamais accéder à toute la structure de la machine moléculaire de telles protéines complexes. Donc non seulement la complexité de la structure s'est accrue mais le nombre de structures augmente également de manière extrêmement rapide. Au Royaume-Uni, la structure de la F1-ATPase a agi comme un catalyseur pour la génération suivante de source de lumière à construire au Royaume-Uni, connue sous le nom de Diamond. Rien d'étonnant à ce que la biologie soit une composante majeure de ce qui a été proposé pour SESAME. Ce ne sont que des exemples. A mon sens, chacun mérite un prix Nobel, c'est juste une question de chance. La plus grande structure à ce jour est le noyau du virus de la langue bleue qui est composé de milliers de protéines, et tous les atomes de cette structure sans exception ont été déterminés par cristallographie aux rayons X utilisant une source de troisième génération, l'ESRF en l'occurrence.

Diamond (figure 4) est une source d'ultraviolet du vide de très grande circonférence, de très haute performance et, bien évidemment, son coût, en relation avec sa circonférence, est très élevé. La partie droite de la figure 4 indique que la première conception proposée pour cette installation date de 1992 ; le financement a été annoncé dans les 18 mois suivant le prix Nobel de la F1-ATPase ; le site a été décidé entre 1999 et le printemps 2003, et l'installation sera en service en 2007. Vous avez là la durée-type pour un pays scientifiquement avancé où il y a une quantité énorme d'infrastructures scientifiques pour le rayonnement synchrotron. Le Royaume-Uni est le pays où a été construite la première structure dédiée au rayonnement synchrotron, et cela a pris 15 ans. C'est la durée réalisée pour SESAME, et de ce point de vue, c'est

merveilleux, et le mérite en revient vraiment au Conseil et à tous les autres.

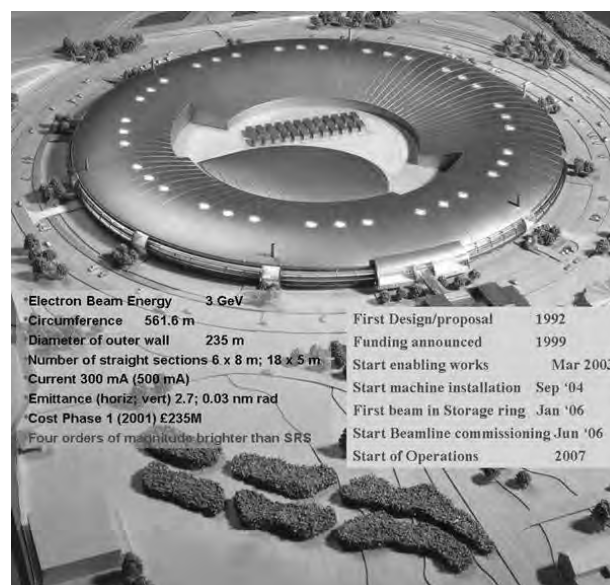


Fig. 4

Un des événements majeurs en termes de programme scientifique a eu lieu en octobre 2002 et a été financé par la JSPS, qui a rassemblé les financements et l'organisation nécessaires pour ce que nous avons appelé le premier colloque utilisateurs (*Users Meeting*), qui a été extrêmement fructueux. Ce colloque et beaucoup d'autres ont permis de développer un programme scientifique pour SESAME. Plusieurs centaines de scientifiques du Moyen-Orient et au-delà ont été impliqués ; ils sont sur le meilleur site et se sont réunis pour donner un ordre de priorité pour ce qui concerne les six lignes de faisceaux de la phase 1. Le prochain colloque utilisateurs aura lieu du 5 au 8 décembre 2005 ; son programme détaillé est sur notre site Web et j'encourage tous nos collègues du Maroc et de la région à venir assister à ce colloque pour voir le dernier bilan de la source de lumière.

Les scientifiques de SESAME se divisent en six disciplines générales : biologie structurale et moléculaire, sciences atomiques et moléculaires - en gros la physique -, sciences des surfaces et interfaces, sciences de l'environnement, sciences de la matière et sciences archéologiques.

Voici les types de dispositifs d'insertion et les différentes régions que nous allons utiliser, depuis l'infrarouge jusqu'aux rayons X. Nous aurons des aimants de courbure, des *wigglers* multiples et des onduleurs sous vide (figure 5). Ce qu'on voit à nouveau sur le projet (figure 6), c'est l'entremêlement de tout ce qui se passe sur cette installation scientifique. Vous avez les lignes de faisceaux - avec quelques détails de conception - qui ont été réalisées. Vous avez aussi des équipements hors des lignes de faisceaux : sciences de la matière, laboratoire biomédical,

environnement, archéologie et physique. Vous voyez donc bien l'entremêlement des différentes sciences et disciplines.

No.	Beamline	Energy Range	Source type	Science Area
1	MAD Protein Crystallography	5 - 15 keV	In-vacuum undulator (6mm gap, 1.5m)	Structural Molecular Biology
2	PES and Photoabsorption spectroscopy	5-1000 eV	Undulator	Atomic Molecular Physics
3	SAX/WAXS	10 keV	Undulator	SMB & Material Sc
4	XAFS/XRF	3-30 keV	2.5 Tesla MPW	SMB, MS, Environmental Sc., Archaeological
5	Powder Diffraction	3-25 keV	2.5 Tesla MPW	MS, Environmental Sc., Archaeological
6	IR Spectromicroscopy	0.01-1 eV	Large Aperture Bending magnet	SMB, MS, Environmental Sc., Archaeological

Fig. 5

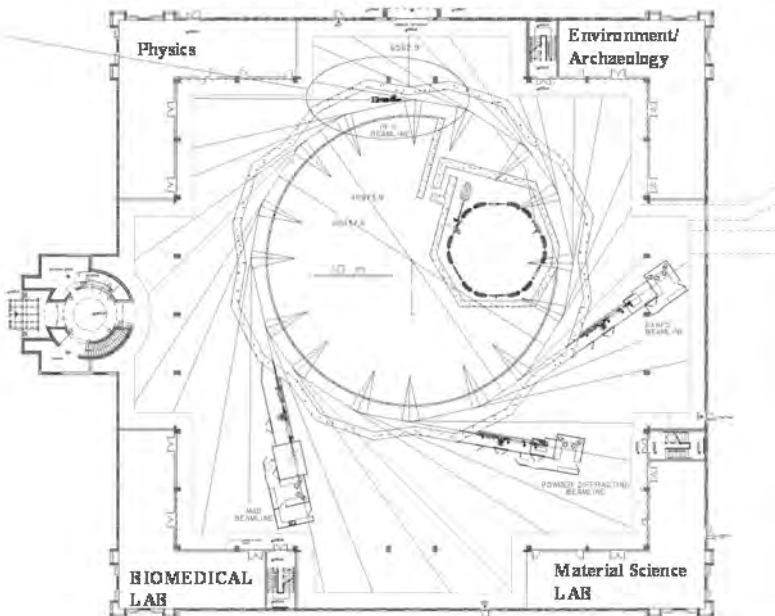


Fig. 6

Je n'ai pas le temps de détailler toutes ces diapositives, et je vais juste vous donner un aperçu de ce qui se passe en termes d'applications : vous avez le coin de la physique, des matériaux magnétiques, des mémoires informatiques hautement avancées. De nouveau, dans le contexte de l'en-

vironnement, on utilisera à SESAME des techniques comme l'analyse de poudre. La science archéologique sera un domaine important, qui a une énorme influence dans toute la région : retracer l'histoire, ce que vous pourrez faire ici, est d'une extrême importance en termes d'héritage culturel mais aussi pour les politiques et les décideurs.

Venons-en à ma conclusion qui est le résultat et la source de mon implication dans le projet SESAME. Si l'on regarde les pays scientifiquement avancés, leur population, et leurs sources de rayonnement synchrotron, et si l'on divise le nombre total de la population par le nombre de sources de rayonnement synchrotron, on arrive à la conclusion simple que les pays scientifiquement avancés disposent d'une source de rayonnement synchrotron pour 40 millions de personnes. Le total de la population des actuels pays membres de SESAME est de 305 millions de personnes, plus que la population des Etats-Unis ; en usant du même ratio, nous devrions donc avoir au moins 7,5 sources de rayonnement synchrotron pour ces pays. Le Maroc a une population de 32 millions d'habitants et je pense que s'il veut prendre part à l'économie fondée sur le savoir, il doit investir dans des infrastructures de ce type. Je crois qu'en devenant membre de SESAME, il sera capable de créer dans la région davantage de sources de rayonnement synchrotron pour le futur.

Je terminerai en citant Abdus Salam qui résume avec bonheur et éloquence les aspirations de cette assemblée : «La science et la technologie sont cycliques. Elles sont un héritage partagé de toute l'humanité. L'Est et l'Ouest, le Nord et le Sud ont tous également participé à leur création dans le passé, comme nous espérons qu'ils le feront dans le futur - l'effort conjugué en sciences devenant l'une des forces d'unification entre les divers peuples de la planète».

Le synchrotron et le laser : amis ou ennemis ?¹

Jean-Patrick Connerade

Blackett Laboratory, Imperial College, London, et Euroscience, Strasbourg

Introduction

Le but de cet article est de donner une brève introduction sur les applications du rayonnement synchrotronique, et en particulier pour l'anneau SESAME, dans le domaine de la physique atomique. Les physiciens de cette spécialité sont en général parmi les premiers à être impliqués dans des expériences avec le rayonnement synchrotronique et la physique atomique reste une excellente introduction au domaine du rayonnement synchrotronique globalement.

Remarques préliminaires

Le problème à n -corps de la physique classique n'est pas résolu. La raison en est comprise ; c'est une conséquence de l'apparition du chaos, comme l'a expliqué Poincaré : il n'existe pas de solution sous forme fermée aux équations classiques des trajectoires pour trois corps. En physique quantique, la situation est beaucoup moins claire. On pense que la granularité de l'espace de phase, due au principe d'incertitude, empêche le chaos. Pour que le chaos classique apparaisse, il faut une divisibilité infinie le long des lignes des célèbres «univers dans les univers» décrits en premier par Blaise Pascal.

L'intérêt se focalise ainsi sur deux situations. La première est l'étude des effets à n -corps dans des systèmes mécaniques quantiques et la seconde est la persistance d'effets chaotiques quand on passe de systèmes classiques à des systèmes quantiques. Quand on fait de telles études, il est souhaitable d'éliminer toutes les sources de confusion, dues par exemple à une mauvaise connaissance du potentiel, et de travailler avec un système totalement extensible à toutes les échelles. Ces deux raisons ont conduit à choisir les atomes, tout d'abord parce que la loi du carré inverse est la loi de force la plus connue en physique, et aussi parce que l'atome est un système totalement extensible à toutes les échelles.

En physique atomique, des effets à n -corps apparaissent dans un domaine d'énergies comprises entre les rayons X et le domaine visible. Ce domaine est entièrement accessible au rayonnement synchrotron, tandis que le laser ne couvre que des portions réduites, qui sont utiles mais ne permettent pas d'étudier tout ce domaine phénoménologique. Il est donc nécessaire d'utiliser les

deux types de sources et d'avoir une bonne compréhension de leur propriétés respectives pour exploiter complètement leurs potentialités complémentaires.

Un aspect particulier de l'expertise nécessaire pour faire des expériences avec le rayonnement synchrotron est effectivement la complémentarité avec la spectroscopie par laser. C'est important de le reconnaître car cela fournit un chemin à la fois pour les études avec des synchrotrons et une formation de base essentielle pour les chercheurs, qui peuvent procéder à des expériences dans leurs propres laboratoires, à la maison, avant d'essayer de travailler dans l'enceinte d'un laboratoire de rayonnement synchrotron.

Je vais donner quelques exemples simples pour montrer que les deux méthodes expérimentales sont complémentaires. Dans certains cas, nous avons obtenu nos résultats avec les deux techniques, ce qui permet de les comparer. Je ne discuterai pas les effets d'une haute intensité de radiation sur la réponse spectrale des atomes (effets multiphotoniques), puisqu'ils sont accessibles par spectroscopie laser mais sont au-delà de la portée d'études par rayonnement synchrotron, à l'heure où j'écris.

Certains de mes exemples sont tirés d'un article de revue, publié par l'*Arabian Journal of Physics* [1], et d'autres d'un livre republié récemment par Cambridge University Press [2].

Exemples tirés d'expériences synchrotron et laser sur des atomes libres

Le domaine de longueurs d'onde le plus important pour la physique atomique est celui de l'ultraviolet et des rayons X mous, domaine dans lequel les approximations simples du modèle conventionnel d'électrons indépendants cessent de s'appliquer. Il se trouve que c'est le domaine le plus favorable expérimentalement pour beaucoup de sources de rayonnement synchrotron. De plus, le synchrotron couvre tout ce domaine, alors que les lasers n'en couvrent seulement qu'une partie.

¹ Traduction du texte original en anglais.

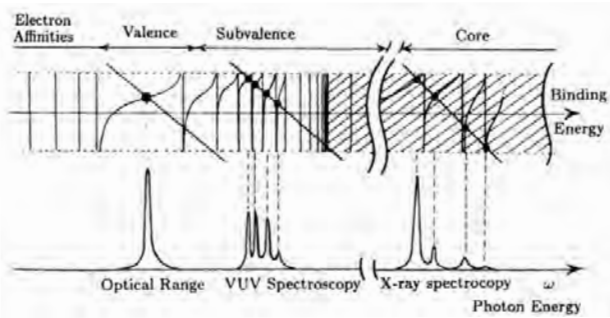


Fig. 1 : Domaines d'énergie typiques pour les études par rayonnement synchrotron des spectres atomiques et moléculaires

L'avantage principal du rayonnement synchrotron est l'étendue de son spectre de radiation qui couvre tout le domaine de l'infrarouge aux rayons X essentiellement comme un continuum. Aucun laser ne peut faire cela. Cependant, des expériences sans fenêtre ne peuvent être réalisées sous pression, car un accélérateur doit fonctionner sous un bon vide. Le laser peut alors fournir seul une alternative viable. Ainsi, l'exemple montré dans la figure 2 serait très difficile à étudier avec le rayonnement synchrotron. Dans cette expérience, une perturbation plutôt inhabituelle d'une série de Rydberg a été étudiée en fonction de la pression d'un gaz étranger introduit dans la colonne atomique. Cette expérience aurait été difficile à réaliser avec le rayonnement synchrotron, car il faut introduire un gaz tampon dans la cellule et la détection de membres de Rydberg très élevés par la mesure du courant d'ionisation avec un détecteur à diode thermoionique est difficile à accomplir autrement qu'en utilisant des lasers.

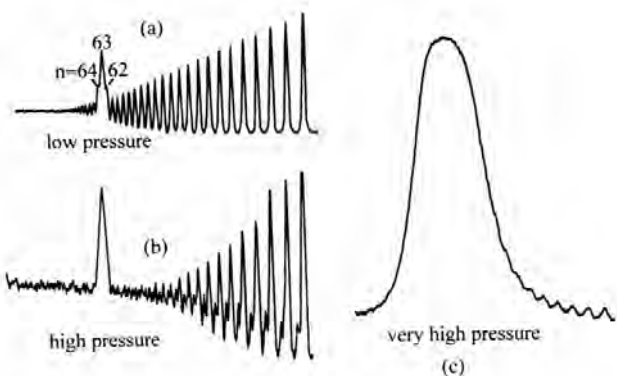


Fig. 2 : Spectres à deux photons de calcium en présence d'un gaz tampon étranger sous pression. Noter la perturbation prononcée aux membres de Rydberg élevés, qui augmente considérablement quand on accroît la pression du gaz tampon.

En fait, une façon simple d'accorder un laser mono-mode est aussi de changer la pression dans la cavité de l'oscillateur. Si la cavité a été proprement accordée sur

un seul mode, ce procédé donne une excellente résolution, mais malheureusement sur un domaine de longueurs d'onde très limité (typiquement, environ 3 angströms pour l'azote, mais cela dépend aussi de l'indice de réfraction du gaz utilisé). La figure 3 montre la conception d'une cavité de Littman, construite à la maison, accordable en pression, que nous avons fait fonctionner à l'Imperial College. Il faut noter que c'est un appareil simple, qui tient sur une table, et dans lequel une cellule à teinture (*dye cell*) est pompée par un laser excimer fonctionnant à 308 nm.

Ce type de laser peut fournir une résolution extrêmement élevée d'une façon simple et dans l'environnement d'un petit laboratoire, comme on peut facilement en implanter un dans une université. Cela permet aux chercheurs non seulement de compléter un programme avec la radiation synchrotron par des expériences à haute résolution faites «à la maison», mais aussi de former des étudiants aux expériences d'optique, avant de les envoyer travailler dans un laboratoire de radiation synchrotron. Il est aussi très important pour les utilisateurs de synchrotron de savoir ce qu'on peut obtenir avec des sources laser, parce que la résolution disponible avec une source laser ne peut pas être obtenue facilement sur le synchrotron.

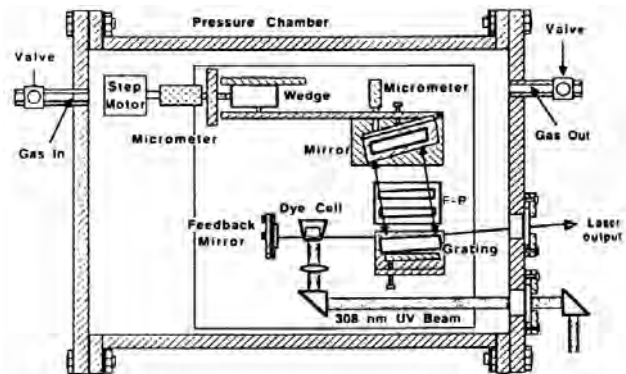


Fig. 3 : Schéma d'un oscillateur laser pulsé à haute résolution et accordable par pression

La figure 4 montre un exemple de spectre obtenu avec un laser accordable, basé sur le principe de la figure 3. La figure 4 montre des membres d'ordre très élevé pour la série principale du baryum.

La figure suivante fait la comparaison directe entre la résolution qu'on peut obtenir par le mélange de quatre ondes cohérentes, en utilisant plusieurs faisceaux laser pour obtenir des longueurs d'onde suffisamment courtes, avec une excitation directe par rayonnement synchrotron et pour exactement le même spectre atomique. Il faut noter que deux lasers pompés en synchronisation sont nécessaires et que la bande d'accord pour le spectre laser est de quelques angströms seulement. La résolution plus élevée du laser n'est pas seulement due aux composants

optiques, mais vient aussi en partie du flux de photons plus élevé, qui permet d'utiliser une détection thermionique et conduit ainsi à des profils de raies beaucoup plus fiables que ceux obtenus par des techniques de photoabsorption.

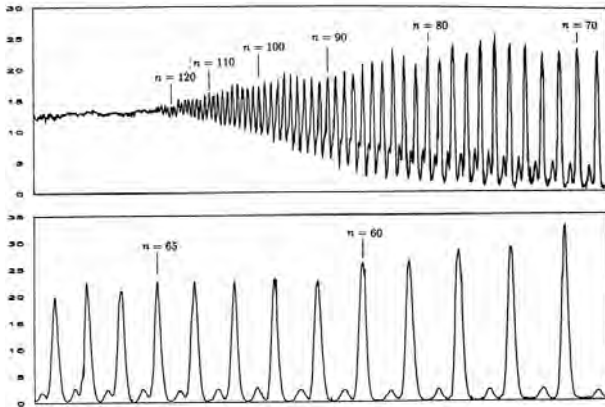


Fig. 4 : Membres élevés de la série principale du baryum. On peut suivre cette série jusqu'à un nombre quantique principal de 120 environ.

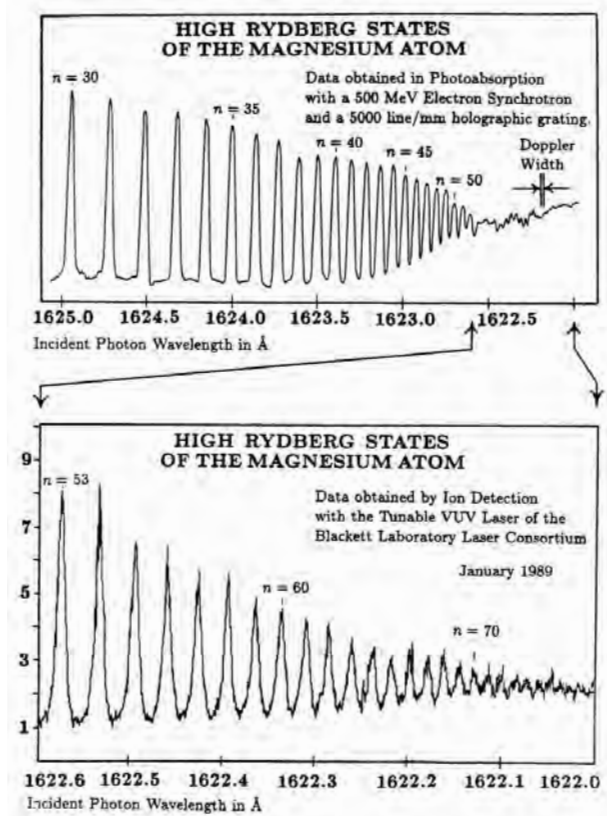


Fig. 5 : Comparaison entre les spectres des membres de Rydberg élevés pour l'atome de magnésium obtenus par spectroscopie synchrotron en photoabsorption (spectre supérieur), et ceux obtenus par spectroscopie en mélangeant quatre ondes cohérentes produites par plusieurs lasers (spectre inférieur).

Comme le montre cette comparaison, les sources cohérentes peuvent donner une résolution spectrale énorme, mais bien sûr, leur champ de couverture reste très limité. De plus, quand on exploite le domaine de longueurs d'onde pratiquement inépuisable de la source synchrotron, en augmentant l'énergie des photons pour arriver dans le domaine plus intéressant de la figure 1, une résolution élevée devient moins importante. Effectivement, il y a beaucoup de situations où cela n'est pas nécessaire, spécialement dans le domaine des ultraviolets et des rayons X mous, où la radiation synchrotron est à son optimum. Une limite fondamentale de la spectroscopie atomique est la largeur naturelle de la raie spectrale. Dans le domaine des UV et des rayons X mous, cela est déterminé habituellement par l'élargissement par auto-ionisation ou par effet Auger, et non par des largeurs radiatives.

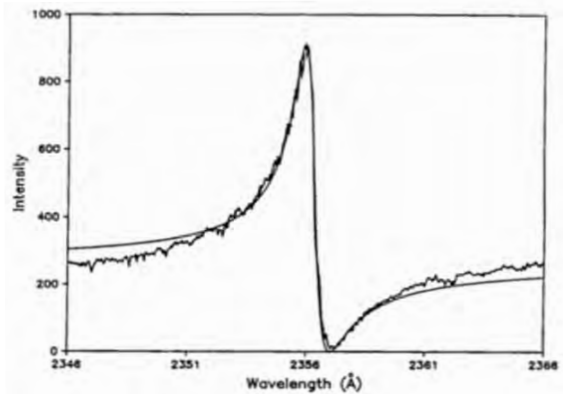


Fig. 6 : Exemple d'un profil de raie auto-ionisant, observé par spectroscopie laser.

Par conséquent, nous devons comprendre la forme des raies, ou plus spécifiquement, comment les formes des raies sont altérées par des interactions entre des profils qui se recouvrent ou qui interagissent. Ceci est effectivement une conséquence des interactions à n -corps. Les quelques exemples suivants viennent de spectres par synchrotron. En fait, on trouve qu'il y a différents types de profils de raie qui peuvent se produire quand des résonances d'auto-ionisation interagissent entre elles. Ce point a été très étudié expérimentalement, et les observations faites avec la radiation synchrotron ont révélé une riche diversité de profils de raie. La figure 7 montre les deux types de profil de base, et provient d'observations à la fois sur les atomes de xénon et de magnésium dans le domaine d'auto-ionisation.

La diversité des interactions est illustrée par les spectres de la figure 8, qui montre comment des profils spectraux d'états auto-ionisants peuvent fluctuer dans leur forme et leur largeur quand ils se chevauchent. Ces changements révèlent beaucoup d'aspects intéressants des interactions à n -corps, et sont d'un très grand intérêt pour les théoriciens qui souhaitent démêler les complexités des spectres atomiques dans ce domaine d'énergie. Une théo-

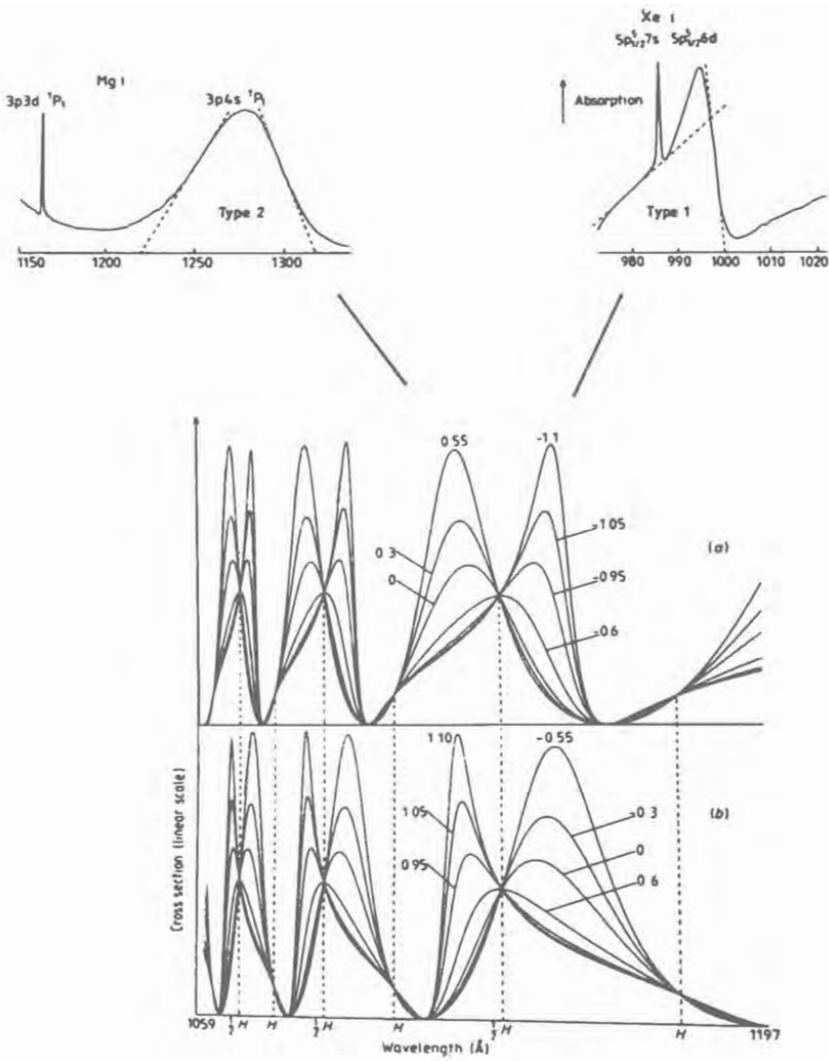


Fig. 7 : Les deux types de base de résonances, qui peuvent être observées dans une série de Rydberg auto-ionisante, sont obtenus par deux exemples expérimentaux, tirés des spectres du magnésium et du xénon.

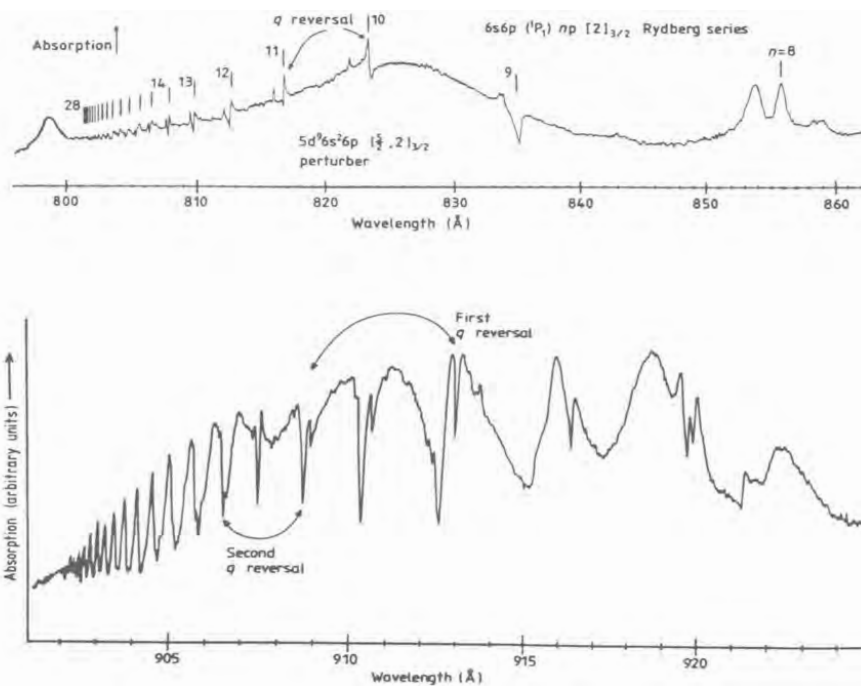


Fig. 8 : Diverses formes de raies observées dans les spectres par radiation synchrotron d'atomes de thallium. Noter en particulier les renversements de symétrie, qui sont caractéristiques de profils de raies en interaction.

rie complète de la forme de ces résonances d'interaction a été établie et est exposée dans le livre sur les atomes fortement excités, déjà cité. Dans cette brève revue, je me concentrerai sur la partie expérimentale, bien que quelques figures (en particulier la figure 2) montrent des courbes théoriques, dont le but est d'illustrer les formes idéales calculées par la théorie des résonances d'interactions pour un large domaine des paramètres possibles.

Quand les raies sont très étroites et apparaissent dans un domaine adéquat pour des lasers accordables, alors il vaut mieux habituellement utiliser une source laser. C'est pourquoi il faut être familier avec les deux types de sources et faire les expériences en deux phases, en utilisant par exemple une source pour l'exploration (habituellement la radiation synchrotron) et l'autre (souvent le laser s'il y en a de disponible dans le domaine d'énergie désiré), pour compléter l'étude. Quand on réalise une expérience laser de ce genre, qui demande un balayage haute résolution long et fastidieux, c'est un énorme avantage d'avoir un spectre par radiation synchrotron pour s'y référer au cours de l'investigation.

La figure 8 montre en particulier un effet qui a été découvert avec la radiation synchrotron (l'effet du renversement de q) : c'est un petit changement dans la symétrie d'une série de résonances d'auto-ionisation en fonction de l'énergie, quand l'excitation est à large bande. Effectivement, on peut montrer que ce basculement de symétrie

se produit au point d'interaction maximum, et qu'il y a des théorèmes très généraux qui régissent l'apparition et le nombre de ces changements de symétrie qui peuvent se produire dans un spectre atomique. Ces théorèmes ne s'appliquent pas seulement à la physique atomique, mais peuvent être étendus à d'autres sujets comme la spectroscopie nucléaire. Cependant, les atomes fournissent un exemple particulièrement simple et mathématiquement «propre», là encore en raison des propriétés spécifiques de la loi du carré inverse, qui s'applique à toutes les échelles.

Le très haut flux de rayonnement dans une largeur de bande étroite obtenu avec des sources laser (typiquement un kilowatt dans quelques gigahertz) permet d'utiliser des techniques de comptage d'ions et d'électrons sans compromettre la résolution spectrale. Au contraire, pour compter des ions avec un rayonnement synchrotron, il faut disposer d'une machine à haut flux avec un ondulateur. Même dans ce cas, on ne peut éviter des sacrifices pour la résolution, bien que la situation va s'améliorer avec la nouvelle génération de machines. Pour illustrer ce point, je montre des données pour le calcium, les unes obtenues à l'accélérateur DORIS avec un ondulateur, les autres (pour le même spectre) avec la méthode du mélange de quatre ondes cohérentes. Tout d'abord, la figure 10 montre le spectre du calcium obtenu avec une diode thermo-ionique à l'ondulateur de DORIS, en utilisant une détection par découpage sensible à la phase.

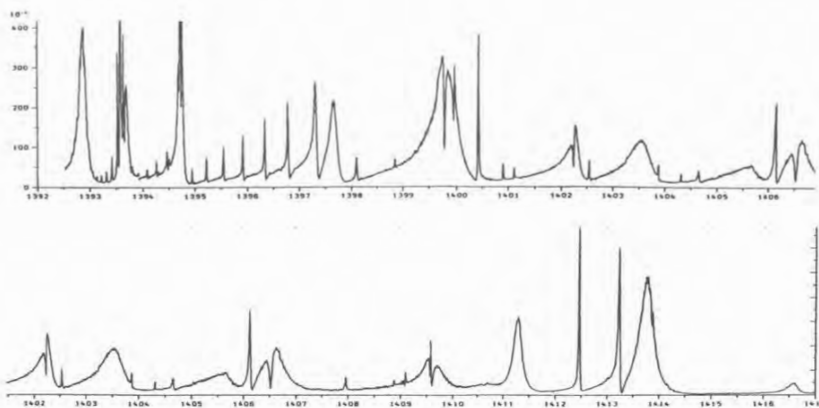


Fig. 9 : Interaction de résonances d'auto-ionisation observées dans une partie du spectre de l'atome d'ytterbium, montrant comment des changements compliqués dans les profils de raies sont révélés par la spectroscopie laser à haute résolution.

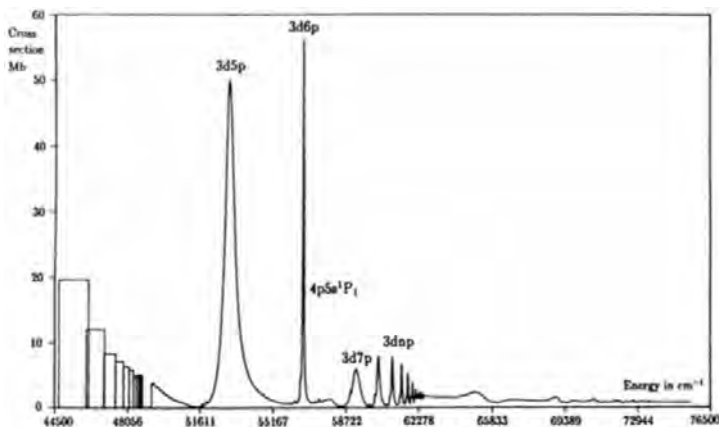


Fig. 10 : Spectre des excitations doubles dans calcium obtenu par une diode thermo-ionique sur l'ondulateur de Doris, avec un découpage pour une détection sensible à la phase.

De la figure 10, on ne peut pas supposer l'énorme complexité sous-jacente à la double excitation du calcium, qui apparaît seulement quand on tente un balayage à haute résolution par spectroscopie laser.

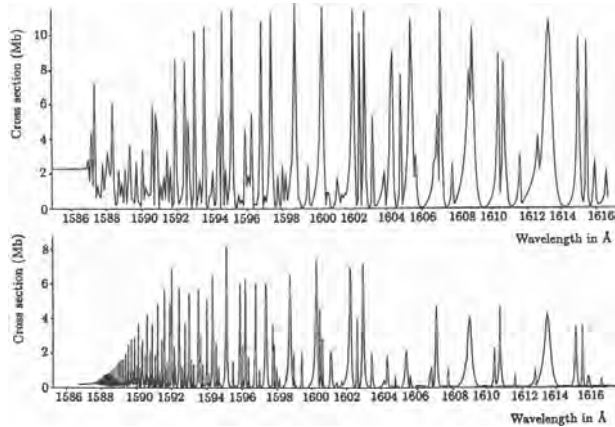


Fig. 11 : La complexité sous-jacente du spectre du calcium doublement excité.

Même la figure 11, qui révèle effectivement sur une partie de la gamme d'énergie l'émergence d'un «chaos quantique» déclenché par des interactions à n-corps, ne révèle pas les détails qui peuvent être extraits par spectroscopie laser, comme le montre la figure 12, qui ne contient qu'une minuscule partie de la partie la plus régulière du spectre de la figure 11.

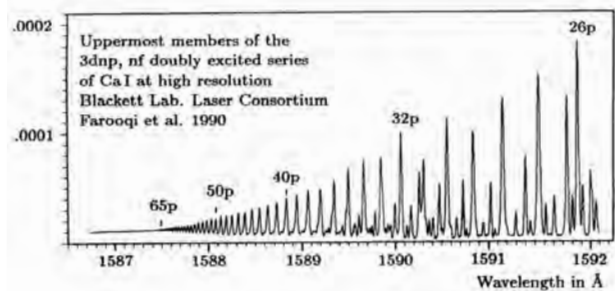


Fig. 12 : Une infime portion du spectre de la fig. 11, obtenue par spectroscopie à mélange de quatre ondes cohérentes, à l'Imperial College.

Un autre exemple des effets complexes qui ont été découverts en combinant les spectroscopies par rayonnement synchrotron et par laser est l'effet des fluctuations évanescentes, illustré dans la figure 13, pour le spectre du baryum.

Quand on aborde le domaine de la spectroscopie de la couche interne, il devient de plus en plus difficile d'utiliser des lasers pour réaliser des études fines. Dans l'exemple suivant (figure 14), on voit un spectre avec

une résolution plutôt élevée, obtenu par spectroscopie laser multi-couleur. C'est probablement le point ultime où l'on peut aller avec cette technique, et le domaine couvert devient alors tellement petit qu'on ne peut plus faire grand-chose avec ces techniques laser.

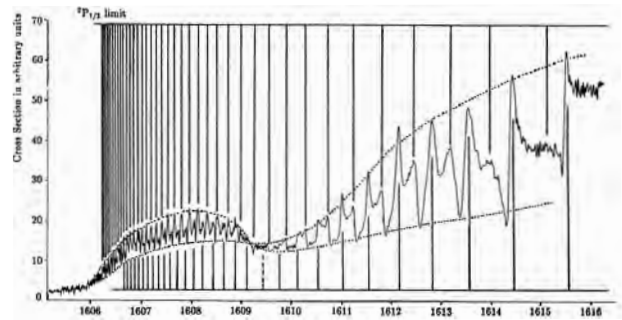


Fig. 13 : L'effet des fluctuations évanescentes

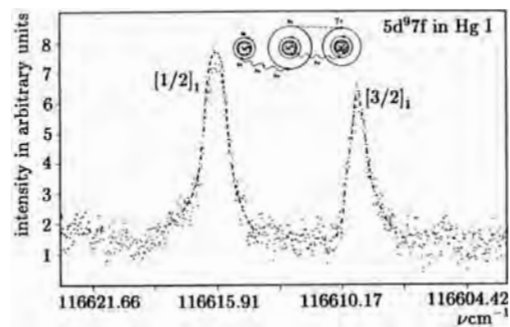


Fig. 14 : Spectre partiel par laser multi-couleur de la couche interne du mercure

Au contraire, la figure 15 montre le spectre complet de la couche interne du calcium obtenu par spectroscopie synchrotron. De cet exemple, on peut conclure que les couches internes sont difficiles à atteindre, avec des résultats maigres en utilisant des lasers, mais que la radiation synchrotronique est parfaitement adaptée à leur étude.

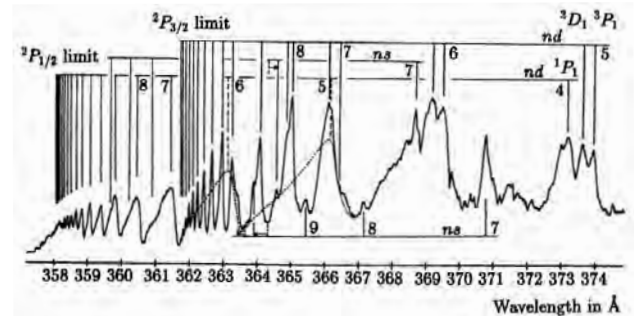


Fig. 15 : Spectre de la couche interne 3p du calcium par spectroscopie synchrotron.

Expériences avec des champs appliqués de l'extérieur

Un autre aspect des études par synchrotron et par laser est l'exploitation de la polarisation du rayonnement pour mesurer les forces des oscillateurs atomiques en utilisant des champs magnétiques élevés pour observer la rotation de Faraday. C'est une méthode extrêmement puissante, dite Vernier magnéto-optique (ou méthode MOV en anglais), qui, en fait, a été découverte en utilisant la radiation synchrotron (figure 16). La radiation synchrotron et les sources de rayonnement cohérent sont naturellement polarisées. Ceci est une caractéristique très utile, qui, à nouveau, les rend complémentaires.

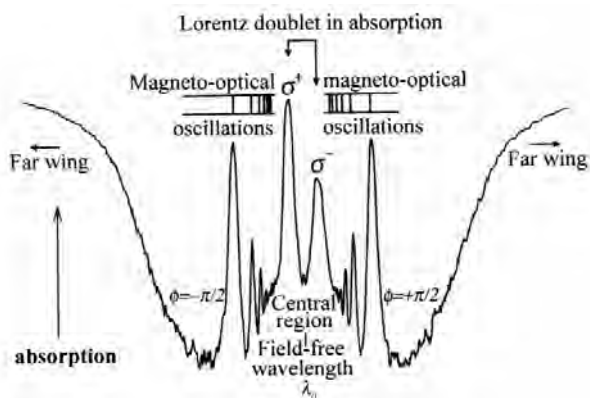


Fig. 16 : Modèle de Vernier magnéto-optique, obtenu par spectroscopie synchrotron à la source à 500 MeV du Physikalisches Institut à Bonn

Des modèles MOV peuvent aussi être obtenus par spectroscopie laser en mode pulsé, comme le montre la figure 17. L'étude de tels diagrammes peut conduire à une compréhension détaillée de la distribution des forces des oscillateurs dans des séries perturbées.

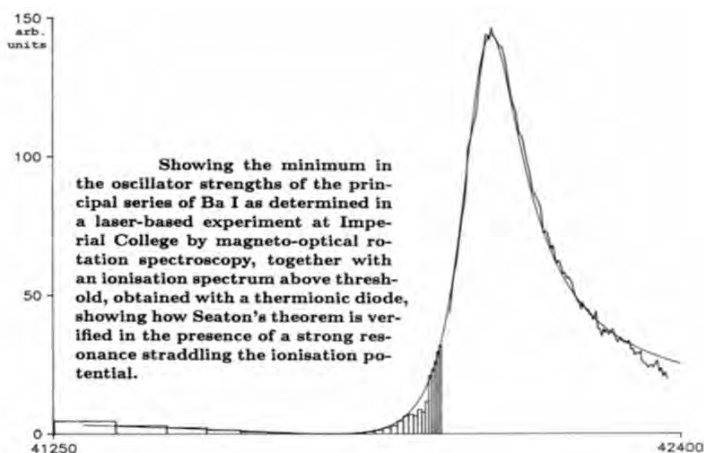


Fig. 17 : Forces d'oscillateur dans la série principale du baryum

Pour finir, je vais donner l'exemple d'une expérience que nous ne savons pas encore faire avec du rayonnement synchrotron. Si l'on y arrivait, ce serait une avancée importante.

Le but de cette expérience est d'étudier le «chaos quantique» dans trois dimensions. Le dispositif expérimental requiert une combinaison complexe de faisceaux laser et d'atomes, se croisant dans un champ magnétique, et en appliquant un champ électrique perpendiculairement (figure 18).

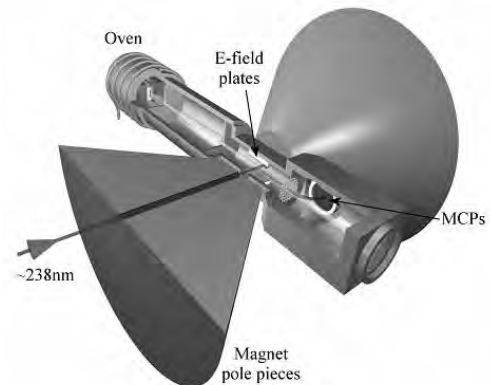


Fig. 18 : Dispositif expérimental pour les études sous champs croisés à l'Imperial College (Hogan, PhD thesis, 2006)

Les expériences avec des champs croisés ont produit une quantité énorme de données utiles pour la «Chaologie quantique», (voir les cartes de Stark pour les spectres diamagnétiques de la figure 19), mais elles sont limitées à l'investigation des états liés. La seule façon d'élargir ces données serait d'étudier les spectres de photo-ionisation sous champs croisés. Pour le moment, ceci est au-delà des possibilités expérimentales actuelles. La radiation synchrotron pourrait bien ouvrir ce nouveau domaine d'expériences, mais des développements supplémentaires des techniques de détection sont nécessaires.

Conclusion

En conclusion, on peut dire que le synchrotron et le laser doivent être utilisés tous les deux. Pour avoir les meilleurs résultats, utilisez un laser chez vous et allez sur un synchrotron de temps en temps. De cette façon, vous couvrirez un spectre plus complètement et utiliserez la puissance du laser dans les fenêtres disponibles. Aussi, vous pourrez aller sur une source synchrotron en vous sentant plus confiant dans votre expérience, car elle vous sera familière.

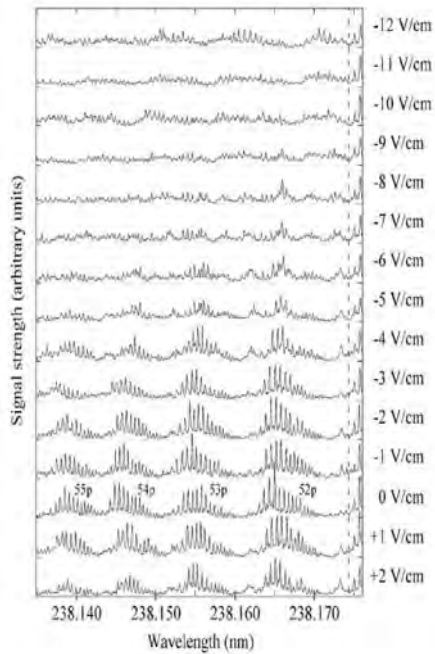


Fig. 19 : Exemple d'une carte de Stark pour un modèle d'atome de Rydberg placé dans des champs électrique et magnétique croisés. Ces données sont obtenues autour des nombres quantiques principaux 52-55.

Remerciements

Le travail décrit dans cette brève revue doit beaucoup à de nombreux collègues et anciens étudiants, qui ont apporté leurs contributions pendant de nombreuses années. Je voudrais mentionner en particulier le P^r M. Aslam. Baig (actuellement directeur scientifique de SESAME), les D^{rs} Shahid Farooqi et Bakri Abdulla ainsi que M. Stephen Hogan.

Le soutien financier pour cette recherche est venu de sources variées, incluant l'Agence spatiale européenne, le Deutscher Forschungsgemeinschaft, l'Alexander von Humboldt Stiftung, le ministère fédéral allemand pour la Recherche et la Technologie, la Royal Society of London et l'Engineering and Physical Sciences Research Council.

Références

1. CONNERADE J.-P., BHATTIA K.S., MAKDISI Y.Y., Spectroscopic Applications of Lasers, *The Arabian Journal of Science and Engineering*, 1992, 17, 191.
2. CONNERADE J.-P., *Highly Excited Atoms*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998 (re-issued as a paperback in 2005).

Autres contributions

SESAME : génie civil et paramètres de la machine

Gaetano Vignola, directeur technique de SESAME

Présentation : 25 diapositives en anglais

Pôle de compétences matière condensée et modélisation des systèmes

Les activités de recherche du pôle de compétences MACOMS

Abdellah Benyoussef, ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche scientifique du Maroc

Présentation : 33 diapositives en anglais

Session 5

De la sécurité alimentaire à la sécurité des aliments : un espace euro-méditerranéen à construire

Responsable de la session :

Bernard Bachelier

Directeur de FARM, Paris

Perspectives démographiques, évolution de la situation agricole et alimentaire en Méditerranée. Quelles questions pour la recherche ?¹

Vincent Dollé

Directeur du CIHEAM-IAMM (Institut agronomique méditerranéen de Montpellier)

Population méditerranéenne, analyse rétrospective de son évolution et des projections démographiques sur 30 ans

En un demi-siècle, la population des pays riverains de la Méditerranée augmente de 150 millions d'habitants ; elle passe de 300 millions en 1975 à 400 millions en 1995, puis à environ 450 millions en 2000 (figure 1). Les données collectées par le Plan bleu sur les évolutions passées ainsi que les travaux de projections futures amèneraient à comptabiliser plus de 500 millions d'habitants en Méditerranée vers 2025. D'autres analyses prospectives réalisées par les Nations Unies et reprises par des travaux du CIHEAM², situent à environ 700 millions d'habitants la population de la Méditerranée vers 2050.

Cette forte croissance démographique globale du Bassin méditerranéen est cependant le résultat de dynamiques démographiques assez opposées au nord et au sud comme à l'est de la Méditerranée. Plus précisément, nous incluons dans la liste des pays du Nord³ les pays de l'Europe méditerranéenne ainsi que les Balkans. Les pays du Sud et de l'Est⁴ comprennent les pays du Maghreb et les pays du Proche et Moyen-Orient.

Au nord de la Méditerranée, on observe que la stabilité démographique s'accompagne d'un vieillissement de la population avec une stabilisation globale des naissances. Dans les pays de la rive Nord, plus d'une personne sur deux aura plus de 50 ans en 2025. Cette faiblesse de la croissance démographique est globale pour la majorité des pays de la zone avec même, pour certains d'entre eux, une baisse du nombre des habitants.

POPULATION DES PAYS RIVERAINS DE LA MEDITERRANEE
Rétrospective et projection démographique de 1970 à 2025

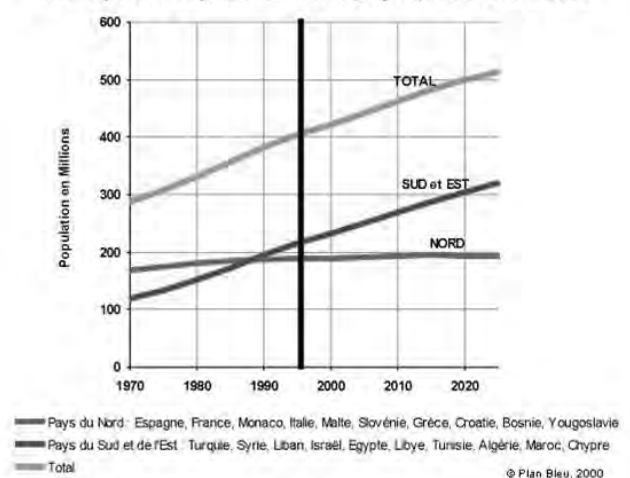


Fig. 1 : Évolution des effectifs de population sur les rives Nord et Sud de la Méditerranée, 1970-2025 (Source : Plan bleu 2001, les fascicules du Plan Bleu 11).

¹ Texte original en français.

² Cf. *Agriculture et alimentation en Méditerranée. Les défis de la mondialisation*, Mohamed Salah Bachtta et Gérard Ghersi, 2004.

³ Pays du Nord : Bosnie, Croatie, Espagne, France, Grèce, Italie, Malte, Slovénie et Yougoslavie.

⁴ Pays du Sud et de l'Est : Algérie, Chypre, Égypte, Israël, Liban, Libye, Maroc, Tunisie, Turquie et Syrie.

Par contre au sud et à l'est, c'est une forte croissance démographique qui s'observe, aboutissant globalement au triplement de la population en une génération. La population y est massivement jeune et la transition démographique qui entraînerait progressivement une stabilisation de la croissance n'est pas attendue avant 2025 (figure 2). Les pays de la rive Nord regroupaient, en 2000, 70 % de la population. En 2025, ce sont les pays du Sud et de l'Est qui rassembleront 60 % de la population méditerranéenne.

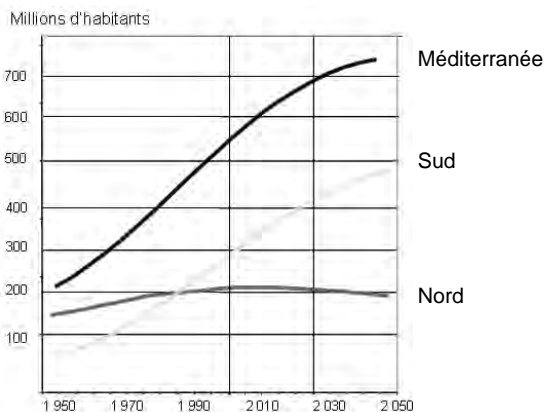


Fig. 2 : Évolution de la population en Méditerranée (1950-2050) (Source : Nations Unies)

Une analyse plus précise de la localisation de ces populations dans les pays du Bassin méditerranéen montre clairement que les activités et les populations se concentrent en zone littorale. Si cette tendance est ancienne au nord de la Méditerranée, elle marque de plus en plus également le sud de la Méditerranée. 3 392 agglomérations comptaient plus de 10 000 habitants en 1995 (figure 3). Ces agglomérations étaient en nombre inférieur à 1 900 en 1950. Finalement, dans 20 ans, les villes méditerranéennes compteront 100 millions d'urbains de plus qu'actuellement.

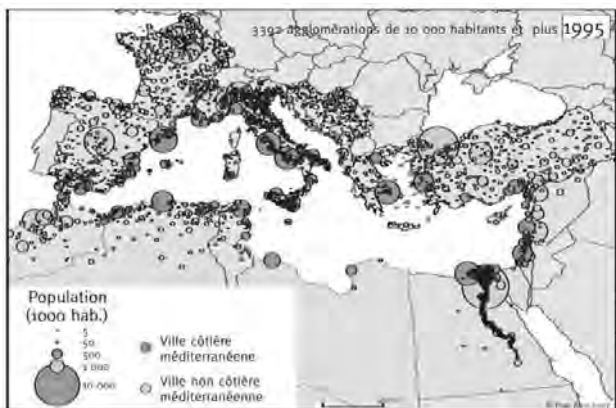


Fig. 3 : La population méditerranéenne se concentre sur le littoral (Source : Plan bleu 2003 et Géopolis)

Dans la même période, l'analyse de l'évolution comparée de la population rurale dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée (PSEM) et de l'Union européenne (UE) montre une tendance totalement inverse pour ces deux régions jusqu'en 2000. La population agricole dans les pays du Sud et de l'Est est en croissance régulière ; elle passe de 60 millions d'habitants en 1960 à 100 millions en 2000 (figure 4).

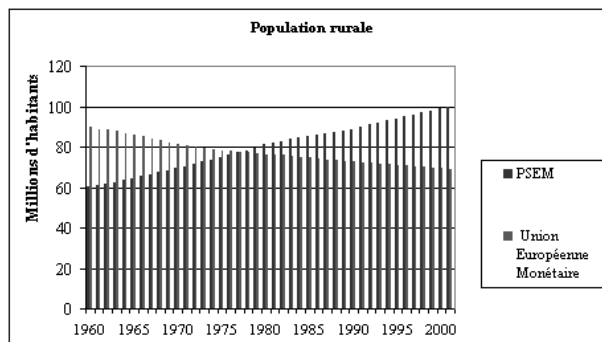


Fig. 4 : Évolution de la population rurale en Méditerranée (Source : Banque mondiale)

A partir de 2000, les observations et les projections démographiques proposées par la FAO et le Plan bleu indiquent une stabilisation de cette population. En 2002, la majorité de la population rurale, soit 57 % des 189 millions d'habitants, se concentre dans la rive Sud. Après 2010, cette population agricole devrait décroître. Ces dynamiques démographiques différenciées au nord, d'une part, au sud et à l'est, d'autre part, s'accompagnent, pour l'ensemble de la Méditerranée, d'une forte urbanisation avec concentration en zone littorale. En même temps, la population agricole active sera relativement moins importante. Il faudra donc nourrir plus de Méditerranéens vivant en ville avec moins d'agriculteurs méditerranéens.

La croissance démographique en Méditerranée produit de nombreux impacts dans différents compartiments de la vie courante, comme l'évolution du rapport entre la population active et inactive et celle de la population d'actifs agricoles par rapport à la population totale. Cette croissance démographique, essentiellement dans les villes, et l'exode rural qui l'accompagne, ont globalement des impacts importants sur l'emploi et les revenus en milieu urbain.

L'urbanisation du littoral méditerranéen induit, d'autre part, une évolution conjointe des habitudes alimentaires, des pratiques nutritionnelles et, globalement, de l'alimentation. Ces évolutions peuvent parfois avoir des conséquences importantes en santé publique (figure 5, planche II).

L'augmentation de cette population s'accompagne évidemment d'une pression accrue sur l'environnement et les ressources. En 2002, la pression foncière sur les terres

agricoles reste forte dans les pays du Sud ; 40 % des actifs marocains et 50 % des actifs turcs sont encore des agriculteurs. La demande énergétique⁵ est aussi en forte croissance comme la demande en eau à des fins agricoles mais aussi domestiques, industrielles et touristiques. Les risques d'instabilité sociale sont de ce fait accrus et, comme nous le détaillerons, les PSEM doivent faire appel aux importations alimentaires de façon croissante pour satisfaire les besoins de leurs populations. Comment faire face correctement à ces enjeux si les disparités actuelles de production de richesses de développement économique et humain entre le Nord, le Sud et l'Est se maintiennent.

Développement économique et niveau de vie

Le produit national brut (PNB) global de la région méditerranéenne est de 4 000 milliards de dollars en 1995, mais 90 % de ce PNB provient des cinq pays de l'UE en Méditerranée qui ne représentent que 40 % de la population. La France produit 40 % de cette richesse, l'Italie 32 %, l'Espagne 15 % et la Grèce 5 %. Si la tendance actuelle de croissance du produit intérieur brut (PIB) des pays méditerranéens restait identique, dans une trentaine d'années, moins de tiers des Méditerranéens vivant au Nord créeraient et posséderaient neuf fois plus de richesses que les deux tiers des Méditerranéens vivant au Sud (données Plan bleu et CIHEAM).

La croissance du PNB par pays est élevée pour l'ensemble des PSEM ; elle reste effectivement de plus de 4 % par an de 1975 à 2000 alors que, pour la même période, elle est de 2,5 % pour les pays de l'UE (tableau 1). Dans la même période, la croissance du PNB par habitant reste faible ; cela est effectivement directement lié au poids de la croissance démographique.

Tableau 1 : Taux de croissance moyen annuel du PNB, du PNB/habitant et de la population totale (1975-2001) (Source : World Development Indicators 2003, Banque mondiale)

	PNB	Population	PNB/hab
Algérie	3,10	2,65	0,43
Chypre	6,66	0,89	5,72
Egypte	5,98	2,37	3,53
Israël	4,25	2,47	1,73
Jordanie	6,04	4,17	1,79
Liban	3,04*	1,60	1,24
Malte	5,76	0,75	4,98
Maroc	3,78	2,11	1,64
Syrie	4,37	3,26	1,08
Tunisie	4,78	2,20	2,52
Turquie	3,66	2,17	1,46
PSEM	4,29	2,44	1,81
France	2,44	0,47	1,96
Union Européenne Monétaire	2,46	0,35	2,10

* 1988-2001 pour le Liban.

Le PIB par habitant est 10 fois plus faible en Algérie qu'en Italie ; 30 fois plus faible en Egypte qu'en France. Les disparités Nord/Sud de production et de répartition des richesses amènent à distinguer trois niveaux de développement humain : la Méditerranée très développée essentiellement «européenne», une Méditerranée peu développée (Syrie, Algérie, Maroc, Egypte) et, entre les deux groupes, les autres pays formant le groupe de la Méditerranée moyennement développée (Balkans, Tunisie, Libye, Liban, Turquie).

Le niveau de vie des habitants du sud et de l'est de la Méditerranée stagne. La population vivant en dessous du seuil national de pauvreté est en croissance pour de nombreux pays dans les dernières années du XX^e siècle (tableau 2). Les données proposées pour quelques pays du Maghreb et de l'Egypte montrent que cette population vivant en dessous du seuil de pauvreté est beaucoup plus importante en milieu rural qu'en milieu urbain, ces données confirmant pas ailleurs que cette situation s'inverse peu en 10 ans. Globalement, la situation de la pauvreté se dégrade pour la majorité des pays. La pauvreté en milieu rural est toujours présente avec ses conséquences en termes d'éducation et de santé des populations rurales. Cette situation ne concourt pas à réduire la fracture entre le littoral méditerranéen et les zones de l'intérieur qui ont tendance à s'appauvrir et se marginaliser.

L'indice de développement humain (IDH) moyen méditerranéen est de 0,79 en 2002⁶ pour un IDH mondial moyen de 0,72.

⁵ Selon les scénarios du Plan bleu reportés dans *Courrier de la Planète*, n° 73, 2004, la demande d'énergie de 820 millions de tonnes équivalents pétrole en 2000 augmenterait de 40 à 70 % selon différents scénarios d'ici à 2025.

⁶ Source : PNUD. L'IDH calculé pour chaque pays a une valeur comprise entre 0 et 1. En 2002, il est de plus de 0,9 pour la France, l'Espagne et l'Italie ; moins de 0,7 pour l'Algérie, l'Egypte et le Maroc.

Tableau 2 : Population vivant en dessous du seuil national (= fixé en fonction des niveaux de vie moyens dans chaque pays) de pauvreté en % (Source : World Development Indicators 2003, Banque mondiale)

	Année	Rurale	Urbaine	Total	Année	Rurale	Urbaine	Total
Algérie	1988	16,6	7,3	12,2	1995	30,3	14,7	22,6
Egypte	1995	23,3	22,5	22,9	2000	nd	nd	16,7
Jordanie	1991	nd	nd	15	1997	nd	nd	11,7
Maroc	1990	18	7,6	13,1	1999	27,2	12	19
Tunisie	1990	13,1	3,5	7,4	1995	13,9	3,6	7,6

Quelques pays attirent la majorité des investissements directs étrangers (IDE) qui, globalement, restent un à niveau peu élevé en Méditerranée. Les PSEM n'attirent que 2 % des IDE au niveau mondial alors que 4 %, toujours au niveau mondial, des IDE sont orientés vers les pays en développement. 45 % des flux des IDE vers les PSEM depuis 1995 sont dirigés vers la Turquie, l'Égypte, puis le Maroc et la Tunisie. Dans ce contexte de mondialisation des échanges, l'UE reste cependant le premier investisseur dans les pays méditerranéens même si ces pays développent peu leur capacité d'attraction de ces IDE.

Une part importante des recettes en devises des PSEM reste liée à l'activité touristique dont l'impact accru sur la croissance du PNB de ces pays augmente. Les recettes touristiques contribuent en effet à plus de 1 % de croissance du PNB en 1980 ; cette contribution passe à plus de 4 % en 2001. Si les 220 millions de touristes annuels dans le Bassin méditerranéen représentent 30 % des flux mondiaux, l'augmentation de ce tourisme dans les PSEM est en très faible augmentation depuis 10 ans ; les attraits touristiques des PSEM restent tributaires des conflits entre certains états du Proche-Orient toujours vifs.

Enfin, dans le secteur de l'industrie agro-alimentaire contribuant également au PIB, les taux de croissance, de l'ordre de 2 à 3 %, sont réguliers sur une longue période⁷. L'augmentation des performances de ce secteur nécessiterait d'améliorer la méthode de gestion des entreprises ; quelques restructurations financières seraient bénéfiques, mais également l'amélioration des performances de production de l'agriculture garantissant la qualité et la disponibilité des matières premières pour l'industrie de transformation. Il serait également utile de mettre en place des procédures de traçabilité des produits indispensables à la conquête de marchés à haute valeur ajoutée pour des produits typés, de qualité, dont l'origine peut être garantie.

La réduction de la fracture économique entre le Nord et le Sud va nécessiter des efforts de coopération très déterminés. Quelle part le secteur agricole peut-il prendre dans l'évolution de cette situation ?

Alimentation, consommation et importation

Le comportement du consommateur méditerranéen est influencé par son mode de vie. La population qui s'urbanise est de plus en plus attirée par le mode de consommation et de distribution européen ou, plus généralement, occidental. Cette population, en majorité assez jeune, opère des choix de consommation dit modernes ; son goût se forme de plus en plus en dehors du groupe familial. Le consommateur méditerranéen et des PSEM est, de plus, très sensible à la publicité et au genre de vie proposé par les «paraboles» occidentales. La vie économique se féminise dès l'université (54 % des étudiants en Tunisie depuis 2004 sont des... étudiantes). Les femmes travaillent de plus en plus hors du foyer familial. La taille des ménages diminue et, de ce fait, les préparations culinaires se modifient, se simplifient et se standardisent. Les profils alimentaires variés en Méditerranée (figure 5, planche II) se différencient cependant nettement du profil moyen de consommation alimentaire occidentale (MCAO).

Comme le montrent les différents profils de consommation alimentaire, le Méditerranéen du Sud consomme plus de céréales et de racines, plus de légumes secs, parfois plus de poisson mais, très souvent, beaucoup moins de viande, de lait et produits dérivés, et de matières grasses. Ce modèle de consommation méditerranéen est souvent appelé modèle crétois ; il est à noter que ce modèle alimentaire pratiqué par le paysan crétois s'accompagnait souvent de nombreux efforts physiques. Le modèle alimentaire crétois reste le modèle type à atteindre pour de nombreux occidentaux urbanisés, présentant une surcharge pondérale souvent dès le jeune âge⁸ et plus enclins à absorber trois heures de programmes télévisuels par jour qu'à fournir un effort physique leur permettant d'éliminer le surplus de calories ingérées. L'alimentation méditerranéenne au sud et à l'est du Bassin méditerranéen reste

⁷ Source : Agri.Med, rapport annuel, 2004.

⁸ Un enfant sur six en 2004 en France est atteint de surcharge pondérale.

donc un bien à préserver pour la richesse et la diversité de nombreux produits typés. Ces produits sont issus de traditions culinaires héritées de toutes les civilisations qui se sont croisées en Méditerranée s'enrichissant progressivement de produits alimentaires nouveaux originaires d'Asie et des Amériques. Ce large répertoire culinaire est cependant encore assez bien transmis d'une génération à une autre ; les repas, même frugaux, sont toujours assez structurés et conviviaux. L'alimentation méditerranéenne allie toujours plaisir et santé, authenticité, produits de terroir et de qualité. Elle doit donc être conservée comme un bien-être nutritionnel et social.

Pour satisfaire en quantité la demande alimentaire intérieure en forte croissance, les productions nationales agricoles et agro-alimentaires doivent être de plus en plus complétées par des importations massives. En effet, pour les PSEM, la consommation totale de céréales double de 1980 à 2004 : elle représente actuellement un volume de plus de 100 millions de tonnes, dont 60 % pour satisfaire uniquement les besoins de la Turquie et de l'Egypte. Dans la même période, la production intérieure de céréales dans ces PSEM couvre, en 1980, 75 % des besoins de consommation. Ce taux de couverture baisse à 65 % en 2002. La dépendance des PSEM liée aux importations céréalières obligatoires est de plus en plus sensible. La consommation de lait passe, pour la même région, de

18 millions à 25 millions de tonnes. Si la couverture des besoins s'améliore globalement, la consommation individuelle reste encore faible, essentiellement liée au niveau de vie en milieu rural et de la majorité des urbains encore en faible augmentation.

Tous les pays de la région de la rive Sud et de l'Est sont déjà, ou deviennent, de grands importateurs de produits agricoles et agro-alimentaires. En 2000, le blé est le premier produit importé et représentait, pour l'Egypte et la Tunisie, de 20 à 30 % de leurs produits alimentaires importés. En moyenne mondiale, les importations alimentaires représentent 8 % des importations ; pour les PSEM, elles représentent 11 % de ces importations en valeur. Les huiles alimentaires sont fortement importées au Maroc, en Tunisie, en Egypte ; le sucre, au Maroc et en Tunisie ; le thé en Egypte mais aussi au Maroc et en Tunisie. L'Algérie et l'Egypte sont des pays fortement importateurs (tableau 3). Le Maroc⁹ et la Tunisie présentent des taux de couverture des produits agro-alimentaires importés par les exportations agricoles et agro-alimentaires qui s'amélioreraient.

⁹ En 2003, le taux de couverture des exportations par les importations est de 0,42 pour le Maroc, 0,58 pour la Tunisie, seulement de 0,01 pour l'Algérie (Source : FAO/CIHEAM-IAMM, 2003).

Tableau 3. Évolution du taux de couverture exports/imports agro-alimentaires (Source : Calculs CIHEAM-IAMM d'après WDI 2003)

	Algérie	Chypre	Egypte	Israël	Jordanie	Liban	Malte	Maroc	Syrie	Tunisie	Turquie
1981	5	90	21	60	30	35	17	53	24	38	643
1982	3	103	21	69	29	31	16	58	42	38	676
1983	2	74	24	71	25	29	19	68	27	25	587
1984	2	90	22	71	23		21	51	47	32	276
1985	3	77	17	73	26		22	69	24	37	255
1986	1	77	17	74	26		20	96	38	43	255
1987	1	82	18	73	25		17	100	39	57	177
1988	1	84	14	68	18		14	112		40	240
1989	1	93	18	70	30		12	94	79	37	155
1990	2	99	14	77	16		12	113	97	51	118
1991	3	83	15	68	25		12	119		96	187
1992	3	65	14	62	27		13	81	83	56	145
1993	4	70	18	58	35		14	77		63	122
1994	1	65	17	55	37		11	104		69	179
1995	4	71	13	56	56		10	92	73	43	101
1996	5	60	11	55			13	104	86	44	101
1997	1	45	10	52	53	8	15	112	99	58	111
1998	1	52	13	53	31	9	14	88	100	52	117
1999	1	52	14	51	36	11	15	101	72	73	131
2000	2	46	16	48	29	12	17	90	73	57	93

Par contre, en 2000, la Turquie devient, pour la première fois de son histoire, pays importateur de produits agricoles et agro-alimentaires (tableau 3). L'Europe est le premier fournisseur de produits agricoles et alimentaires pour la Méditerranée du Sud et de l'Est, même si une grande partie des produits céréaliers importés provient du continent américain. Parallèlement, les échanges entre l'Europe et la Méditerranée du Sud place l'Europe en principale importatrice des pays méditerranéens.

Dix ans après les accords de Barcelone, l'exception agricole persiste dans la constitution d'un grand marché et la mise en place de zones de libre-échange dont les impacts sont très diversifiés pour les pays du Sud, certains positifs, beaucoup d'autres encore négatifs.

Les PSEM qui éprouvent de nettes difficultés à exploiter leur potentiel d'exportation de fruits et de légumes comme d'huile d'olive se positionnent encore pour ces filières en concurrence avec les pays du Nord. La demande interne de ces mêmes PSEM en produits de base entraîne une dépendance alimentaire croissante vis-à-vis des pays du nord de la Méditerranée. La politique agricole commune (PAC) est contestée parfois à juste raison sans que se mette en place une alternative plus raisonnée prenant en compte l'ensemble des fonctions assurées par le secteur agricole.

Comment mettre en place une agriculture méditerranéenne plus durable nourrissant suffisamment et sainement ses habitants et préservant en même temps les ressources et l'espace méditerranéen sur lequel s'exerce une pression toujours plus forte ?

Un environnement et des ressources soumis à des fortes pressions, une agriculture aux résultats toujours aléatoires

L'eau disponible devient une ressource de plus en plus rare. Les données du Plan bleu sur les ressources en eau par habitant disponibles actuellement et les projections pour 2025 laissent prévoir de fortes pénuries conjoncturelles et localisées dans certains pays (Maroc, Espagne, Libye, Syrie, Chypre) dans quelques années. Ces pénuries pourraient être structurelles dans des pays à forte demande en eau, comme l'Égypte et la Libye dès 2005. La situation serait moins critique en Algérie, Israël, Palestine et Tunisie dans la mesure où ces pays ont une demande en eau plus faible.

Les pressions sont de plus en plus fortes sur des écosystèmes fragiles avec des pertes croissantes de terres agricoles de qualité¹⁰, liées au défrichement, à l'érosion et au surpâturage. La mise en culture de terres marginales peut, d'autre part, mettre en péril la biodiversité. Les structures d'exploitation évoluent peu ; on observe une forte persistance de petites exploitations agricoles¹¹, très souvent morcelées. Le *microfundium* reste généralisé en Égypte. Les accès aux services agricoles restent difficiles pour les agriculteurs du Sud et de l'Est ; le crédit

pour l'accès aux équipements demeure peu développé. Les sociétés rurales au Sud restent vulnérables compte tenu de la précarité de leur statut. Dans ce contexte, les écarts de productivité agricole sont croissants entre le Nord et le Sud avec de grandes différences entre la valeur ajoutée par travailleur au Nord et au Sud¹².

Face à la demande croissante de produits alimentaires de base non couverte, l'agriculture des PSEM offre des performances assez irrégulières. L'agriculture méditerranéenne reste, dans ces pays, fortement dépendante de la pluviosité. On y observe une véritable crise de productivité des surfaces cultivées et des élevages. L'agriculture intensive, basée sur l'irrigation, se développe cependant à un rythme élevé : les surfaces irriguées passent de 11 millions d'ha en 1960 à plus de 20 millions en 2004¹³ sans pour autant garantir la couverture des besoins alimentaires de base comme évoqué précédemment.

Dans ce contexte, l'agriculture méditerranéenne doit relever de nombreux défis, parmi ceux-ci :

- garantir la sécurité et la sûreté alimentaires par la mise en marché aussi bien sur les marchés nationaux que pour l'exportation de produits sains, de qualité satisfaisante, disponibles et accessibles ;
- trouver des marchés mondiaux pour les produits méditerranéens à forte valeur ajoutée, porteurs d'identité, avec une origine géographique certifiée pouvant aboutir à un label de produits méditerranéens ;
- dépasser les stricts aspects d'augmentation de la production agricole et s'intéresser aux dynamiques de développement local et territorial, à la promotion de véritables organisations professionnelles, au rôle des acteurs dans les filières de production, à la mise en place de négociations et à l'élaboration de chartes de développement ;
- gérer les ressources naturelles (faune, flore, eaux, sols) et maîtriser les effets négatifs des contraintes climatiques, telles que l'aridité et ses répercussions sur les phénomènes érosifs.

Enfin, il devient nécessaire, au nord comme au sud de la Méditerranée, de prendre en compte la multifonctionnalité de l'agriculture en ajoutant à sa fonction de production essentielle d'autres fonctions de gestion des ressources naturelles et d'aménagement du territoire.

Les politiques agricoles des PSEM, issues des politiques d'ajustement structurel, de la libéralisation des

¹⁰ La surface agricole utile (SAU) représente 34 % des terres au nord du Bassin méditerranéen et n'est que de 9 % au sud du Bassin.

¹¹ Au Maroc, 70% des exploitations agricoles représentant 24 % de la SAU ont une taille inférieure à 6 ha.

¹² La valeur ajoutée par travailleur en 2001 est de 60 000 US dollars en France ; elle est à comparer aux 1 300 dollars produits par le travailleur agricole égyptien.

¹³ Source : Etude 2005, FIPA, CIHEAM-IAMM, à paraître.

échanges, de la mondialisation, aboutissent à l'abandon de politiques d'autosuffisance, puis au désengagement des Etats et des structures d'appui, à la production et à la mise en marché. Globalement, la vulnérabilité de l'agriculture de PSEM ne diminue pas. Comment la recherche peut-elle contribuer à la réduction de ces asymétries, de ces disparités ?

De nouveaux défis pour la recherche

Pour contribuer à l'amélioration de la production agricole des PSEM et à la construction d'un nouvel espace d'échanges euro-méditerranéens, la recherche doit relever plusieurs défis : techniques d'abord, mais également d'organisation et de choix de ses priorités.

Faire face à cette situation qui peut préfigurer une situation de crise, va impliquer pour la recherche agronomique qu'elle prenne en compte de nouvelles préoccupations permettant de promouvoir un développement rural durable. Il devient effectivement nécessaire de mener des travaux de mise au point de nouveaux référentiels techniques, de produire des innovations, d'opérer des transferts de technologie prenant en compte une approche plus globale sur les systèmes de production et les écosystèmes dans lesquels ils s'insèrent. Quelques exemples : en céréaliculture, la recherche agronomique et les structures de développement doivent s'intéresser à la mise au point de matériel génétique résistant à la sécheresse. Elles doivent aussi s'assurer de la mise en place de dispositifs de stockage et de conservation pour valoriser à la fois la production locale et la production importée. De même, des travaux de recherche sur la panification des céréales doivent être entrepris sur les céréales locales. Quelques innovations techniques sont également attendues : sur l'irrigation de compléments en agriculture pluviale pour les périodes de stress hydrique, sur la production de fourrages d'hiver peu consommateurs d'eau pour être produits, sur la valorisation des eaux usées pour l'agriculture, etc.

Au-delà des efforts techniques, les dispositifs de recherche agronomique pour le développement rural doivent prendre en compte de nouvelles approches transversales liant agriculture, alimentation, nutrition et santé. Il devient également nécessaire de s'intéresser aux déterminants de l'organisation des acteurs sur leur territoire et, plus globalement, à la ruralité. Il est aussi important d'analyser les effets des politiques publiques, de prendre en compte le désengagement des Etats et la responsabilisation des organisations professionnelles, de passer du développement agricole et rural au développement territorial, de la croissance au développement durable.

Cela va impliquer de nouvelles organisations pour la formation et la recherche associant plus étroitement institutions publiques, universités et partenaires privés au nord comme au sud de la Méditerranée. A très court terme, il est important de rompre l'isolement des chercheurs, de faciliter l'accès aux connaissances scientifiques utiles,

d'aider à la publication des résultats de recherche sous d'autres formes que la seule forme académique de la revue scientifique internationale à comité de lecture.

Cet effort doit s'accompagner d'une réflexion sur la programmation des travaux et l'allocation des ressources de façon plus équilibrée vers des projets ou vers des équipes travaillant sur des thématiques prioritaires et mieux réparties entre les institutions régionales. L'objectif pour ces dispositifs de recherche et développement est bien de développer des compétences, de produire des connaissances fiables, de bâtir des scénarios de développement et de proposer des hypothèses de développement méditerranéennes plus harmonieuses pour les décideurs.

La recherche agronomique organisée en ensemble euro-méditerranéen avec l'enseignement supérieur pourrait aussi prendre en charge un grand programme coopératif en réseau interdisciplinaire sur des projets régionaux prioritaires. La production de nouvelles connaissances est nécessaire pour, d'une part, pérenniser une agriculture paysanne familiale faisant vivre 75 % des populations rurales des PSEM et, d'autre part, promouvoir une agriculture intensifiée compétitive mais prenant en compte les exigences environnementales et sanitaires du développement durable. Il serait peut-être ainsi possible de construire un modèle d'intégration régionale euro-méditerranéen développant de réelles complémentarités conciliant sécurité alimentaire et sûreté des aliments, et développement plus harmonieux de l'espace méditerranéen.

Bibliographie (quelques éléments récents)

- 1 *Agriculture et alimentation en Méditerranée. Les défis de la mondialisation.* Coordonné par Mohamed Salah Bachtà, Gérard Gherzi. Paris : Khartala, 2004, 358 p.
- 2 *Agri.Med : agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne. Rapport annuel 2004* [en ligne]. Paris : CIHEAM, 2004, 292 p. Ancien titre de 1999 à 2002 : Développement et politiques agro-alimentaires dans la région méditerranéenne : rapport annuel. Disponible en anglais. <http://www.medobs.org/panorama/defrapp.htm>
- 3 *Agri.Med : agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne. Rapport annuel 2005* [en ligne]. Paris : CIHEAM, 2005, 325 p. Ancien titre de 1999 à 2002 : Développement et politiques agro-alimentaires dans la région méditerranéenne : rapport annuel. Disponible en anglais. <http://www.medobs.org/panorama/defrapp.htm>
- 4 ATTANÉ I., COURBAGE Y. 2001. *La démographie en Méditerranée : situation et projections.* Paris : Economica, 249 p. (Fascicules du Plan Bleu ; n. 11).
- 5 AYADI N., MONTIGAUD J.-C., RASTOIN J.-L. 2005. *La vulnérabilité des régions européennes productrices de fruits et légumes frais dans un contexte de libéralisation internationale.* Montpellier : UMR MOISA, 58 p., 23 mai 2005. Programme de recherche européen EU-MED AGPOL «Impacts of agricultural trade liberalization between the EU and Mediterranean countries», rapport WP2.

- 6 BLANC P. (dir.). 2002. *Du Maghreb au Proche-Orient : les défis de l'agriculture*. Paris : L'Harmattan, 291 p.
- 7 COURBAGE Y. 1999. *Nouveaux horizons démographiques en Méditerranée*. Paris : Institut National d'Etudes Démographiques, 200 p. (Travaux et Documents ; n. 142).
- 8 *Espace méditerranéen. Entre mythes et nécessité. Courrier de la planète*, juillet, sept., déc. 2004, n° 73, 67 p.
- 9 *La Méditerranée : un espace spécifique de production et d'échange de produits agricoles et agroalimentaires*. Cinquième réunion des Ministres de l'agriculture des Etats membres du CIHEAM, Paris, 15 décembre 2004 [En ligne]. Paris : CIHEAM, 2004. <http://www.medobs.org/themes/default1.htm>
- 10 *Le partenariat euro-méditerranéen. 10 ans après Barcelone ; acquis et perspectives* [en ligne]. Coordonné par Samir Radwan et Jean-Louis Reiffero. Marseille : Institut de la Méditerranée, Réseau FEMISE, 2005. FEMISE 2, 100 p. http://www.femise.org/PDF/Femise_T2005fr.pdf
- 11 MARGAT J., VALLÉE D.. 2000. *Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXI^e siècle* [En ligne]. Sophia Antipolis : Plan Bleu, 62 p. Document élaboré à la demande du Global Water Partnership/MEDTAC dans le cadre de la Vision mondiale sur l'eau propre par le Conseil Mondial de l'Eau. <http://www.worldwatercouncil.org/Vision/Documents/MediterraneanVisionFrench.PDF>
- 12 *Medagri : annuaire des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes*. 1992. Allaya, Mahmoud. Annuel, depuis 1992. Montpellier : CIHEAM-IAMM. Document en français et en anglais.
- 13 *Milieu rural, agriculture familiale. Itinéraires méditerranéens*. Mélanges offerts à Pierre Campagne par le Réseau RAFAC. Montpellier : CIHEAM-IAMM, 2001, 446 p.
- 14 NASR J. (dir.), PADILLA M. (dir.). 2004. *Interfaces : agricultures et villes à l'est et au sud de la Méditerranée*. Beyrouth : Delta ; IFPO, 429 p.
- 15 PADILLA M.. 2002. *Rapport environnement développement. Etude préparatoire : évolution des modes d'alimentation et enjeux de développement durable en Méditerranée* [En ligne]. Sophia Antipolis : PNUE, Centre d'Activités Régionales du Plan Bleu, décembre 2002, 30 p. <http://www.planbleu.org/publications/padilla.pdf>
- 16 RASTOIN J.-L., GHERSI G., PADILLA M., TOZANLI S. 2004. Consommation et comportements alimentaires : un marché en profonde mutation. In : *Agrimed : agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne. Rapport annuel 2004*. Paris : CIHEAM. Partie III, chapitre 8.2, pp. 222-233.
- 17 SCHMITT F. 2002. *Equilibre alimentaire en Méditerranée, les enjeux pour le XXI^e siècle*. Thèse de doctorat, université de Montpellier I, faculté des sciences économiques, 400 p.
- 18 TOZANLI S., PADILLA M., GHERSI G.. 2003. Impact de l'application des normes internationales sur la sécurité alimentaire des populations dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée. In : Fanfani R. (ed.), Brasili C. (ed.). *Perspective of the Agri-food system in the new Millenium*. Bologne : CLUEB Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, pp. 469-492.

La Méditerranée, zone de libre-échange (ZLE) à partir de 2010 : quelles conséquences pour l'agriculture, pour l'alimentation, pour la recherche agronomique ?¹

Najib Akesbi

Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat

Je crois qu'avec ces exposés extrêmement intéressants, ma difficulté va être de me situer en complément par rapport à ce qui a été dit. Le plus difficile va être d'essayer de dire ce qui n'a pas été dit ou, en tout cas, au moins dire autrement certaines choses qui me paraissent essentielles.

On m'a demandé d'essayer de m'imaginer la Méditerranée comme une zone de libre-échange à partir de 2010 et de voir quelles pourraient en être les conséquences au niveau de l'agriculture, de l'alimentation et de la recherche agronomique. Je vais donc essayer de vous présenter mon exposé en trois parties. Dans la première partie, on va essayer de planter le décor, ce qui veut dire que si,

implicitement, dans la définition du sujet proposé, on laisse à penser que la Méditerranée agricole serait en zone de libre-échange à partir de 2010, la réalité est autre : oui, une zone de libre-échange est prévue mais elle va se contenter pour l'instant de se limiter à l'industrie, aux échanges industriels. L'agriculture, pour sa part, relève encore de la logique de l'«exception agricole». Dans la deuxième partie, je vais essayer de présenter et expliquer les conséquences de cet état de fait au niveau de l'agri-

¹ Texte original en français.

culture et de l'alimentation en Méditerranée. Enfin, la troisième partie me permettra de montrer que l'alternative n'est pas dans la zone de libre-échange, mais dans ce que j'appelle la «région euro-méditerranéenne», et qu'il s'agit de construire sur deux socles qui me paraissent essentiels et qui s'appellent complémentarité et solidarité. Je reviendrai sur la question de la recherche, qui a été bien exposée par Vincent Dollé, mais simplement pour la situer dans la perspective de la région euro-méditerranéenne, et poser les questions qui me paraissent devoir constituer les pistes d'investigations fécondes pour demain.

Le projet euro-méditerranéen de ZLE : libre-échange industriel et «exception agricole»

Le projet euro-méditerranéen actuel est le produit du processus de Barcelone. Ce processus, engagé à partir de 1995, a commencé par se construire dans le cadre de ce qu'on avait appelé la «politique méditerranéenne rénovée», rénovée parce qu'elle voulait dépasser la politique globale antérieure, avec un certain nombre d'innovations par rapport à ce qui existait auparavant, notamment la notion de partenariat, qui rompait avec la notion d'assistance ayant prévalu dans le passé, la question du soutien aux réformes économiques, le développement d'un certain nombre de financements horizontaux, la coopération décentralisée, etc.

Je pense que pour bien comprendre le processus de Barcelone, il faut se rappeler que le début des années quatre-vingt-dix est marqué par la chute du mur de Berlin et l'apparition des PECO, les pays de l'Europe de l'Est et l'Europe Orientale. L'intérêt que l'Europe occidentale manifesta pour cette partie de l'Europe qui émergeait sur la scène internationale fut tel que du côté du sud et de l'est de la Méditerranée, on commença à se poser bien des questions, à commencer par se demander si l'on n'est pas en train d'être un peu les oubliés de l'histoire... Le processus de Barcelone est donc arrivé d'abord pour délivrer un message et affirmer une volonté : l'Europe n'oublie pas la Méditerranée et propose effectivement un projet qui apparaît à priori très ambitieux.

La déclaration de Barcelone (du 27 novembre 1995) trace les contours de ce projet. En gros, le partenariat euro-méditerranéen va reposer sur un trépied, composé de trois piliers. Le premier porte sur le volet politique et de sécurité qui était censé organiser «l'espace commun de paix et de stabilité». Le deuxième pilier est économique et c'est en fait concrètement la zone de libre-échange, laquelle est supposée conduire, à travers les bienfaits du commerce, à la «zone de prospérité partagée». C'est, il faut bien le dire, le projet le plus visible, qui avancera résolument, selon un échéancier précis. Enfin, le troisième pilier concerne la coopération dans les domaines culturel, social et humain. C'est ce pilier qui concerne la recherche scientifique, et puisqu'on est à la veille de la célébration du 10^e anniversaire du partenariat issu du processus de Barcelone, et donc à l'évaluation et à l'établissement du bilan décennal, force est de constater que ce volet a été parmi ceux qui ont été malheureusement un peu délaissés.

Concrètement, cette déclaration et ce processus ont donné lieu à la signature d'un certain nombre d'accords, qu'on appelle accords euro-méditerranéens de partenariat, ou d'association. Comme on peut le constater sur le tableau suivant, l'Union européenne a effectivement signé des accords avec la quasi-totalité des pays de l'est et du sud de la Méditerranée (les PSEM), étant entendu que Malte et Chypre sont maintenant devenus membres à part entière de l'entité européenne. Il ne reste plus que la Syrie pour boucler la boucle. Ces accords sont en principe soutenus par un outil de financement qui est le programme MEDA, et cet ensemble doit s'inscrire dans une sorte de volonté d'accompagnement par l'Union européenne des pays de la Méditerranée dans leur quête de développement.

Tableau 1 : Accord d'association euro-méditerranéens, août 2005 (Source : Délégation de la Commission européenne au Royaume du Maroc, août 2005)

Pays Partenaires	Paraphes	Signature	Entrée en vigueur
Algérie	Décembre 2001	22 avril 2002	-
Chypre	Février 1997	Pays membre de l'UE à partir du 1 ^{er} mai 2004	
Egypte	-	25 juin 2001	-
Israël	Septembre 1995	Novembre 1995	en vigueur depuis 2000
Jordanie	Avril 1997	24 novembre 1997	1 ^{er} mai 2002
Liban	10 janvier 2002	17 juin 2002	-
Malte	Pays membre de l'UE à partir du 1 ^{er} mai 2004		
Maroc	Novembre 1995	26 février 1996	1 ^{er} mars 2000
Autorité Palestinienne	Décembre 1996	Février 1997	Accord intérimaire de coopération Juillet 1997
Syrie	Négociations en cours		
Tunisie	Juin 1995	Juillet 1995	1 ^{er} mars 1998
Turquie	Avril 1997	Union douanière en vigueur	

Cela étant, comme je viens de l'indiquer, ces accords signifient d'abord un certain nombre d'engagements précis de libéralisation dans le domaine des échanges de produits industriels, avec un planning pour le démantèlement de toutes les protections tarifaires et non tarifaires, généralement au cours d'une période de 12 ans. Ainsi dans le cas du Maroc à titre d'exemple, le processus de démantèlement des protections commence avec l'entrée en vigueur de l'accord, en mars 2000, et doit en principe aboutir à la zone de libre-échange complète en 2012. Et jusqu'à présent, je peux vous assurer que le programme de démantèlement tarifaire est appliqué à la lettre.

Par contre, en ce qui concerne les échanges agricoles, force est de constater que les deux parties ont préféré continuer à s'en tenir à l'exception agricole. L'exception agricole, cela veut dire que, parce qu'on estime que le secteur agricole reste un secteur très particulier, très sensible, impliquant d'abord l'alimentation humaine et donc la sécurité alimentaire de la population, mais aussi les équilibres des espaces ruraux, les rapports ville/campagne, la préservation des paysages, des patrimoines historiques et culturels ruraux... pour toutes ces raisons, on estime que l'agriculture doit rester un secteur à part, et donc se passer de se soumettre au processus de libéralisation. On se contente donc d'une libéralisation partielle, limitée et maîtrisée sous forme de «préférences» portant sur l'application de tarifs douaniers avantageux ou de protections non tarifaires plus souples (contingents, calendriers, prix de référence...). Par ailleurs, jusqu'en 1995, ces préférences étaient unilatéralement accordées par l'Union européenne à ses partenaires du Sud, sans que ces derniers aient jamais été tenus de faire de même à son égard. Or, avec les accords du processus de Barcelone, le nouveau principe qui va s'imposer n'est autre que celui de la «réciprocité» : désormais, des préférences d'accès aux marchés de l'Union européenne doivent avoir pour contrepartie des préférences de même nature, si ce n'est de même ampleur, pour l'accès des produits européens aux marchés des PSEM. C'est du donnant, donnant... Bien sûr, ces derniers ne sont pas devenus entre-temps des pays développés, justifiant par là une certaine parité dans l'octroi des préférences, mais en fait, à un moment où la course aux marchés s'accélère et la compétition entre grandes puissances commerciales s'intensifie, il faut voir dans cette nouvelle orientation une nette volonté de l'Union européenne à tout le moins de consolider ses positions dans ses vieilles «chasses gardées»...

Quel bilan peut-on aujourd'hui établir à propos de ce partenariat euro-méditerranéen, plus que trentenaire pour ce qui concerne le Maroc en particulier ? Une aussi longue période permet de disposer du recul nécessaire à une évaluation argumentée, réfléchie et fiable. En fait, des chiffres et des statistiques ont déjà été fournis dans l'exposé précédent, qui permettent déjà d'en conclure que dans l'ensemble, le bilan est plutôt globalement négatif. Le moins qu'on puisse dire est que les agricultures du Sud ont, en deux ou trois décennies, peu évolué. En par-

ticulier, la productivité est restée extrêmement faible au Sud alors qu'elle a sensiblement augmenté au Nord. Les structures de la production ont, pour leur part, évolué, mais dans le sens d'une véritable déconnexion avec le modèle de consommation. En schématisant, on se trouve avec un modèle qui tente laborieusement d'exporter ce qu'il produit, et qui doit de plus en plus importer ce qu'il consomme... On a certes des agricultures qui ne sont pas démunies d'atouts, qui arrivent notamment à développer des filières exportatrices performantes et compétitives, mais se heurtent néanmoins à des politiques et des pratiques protectionnistes qui en limitent fortement le développement ; et dans le même temps, ces mêmes agricultures apparaissent incapables de produire de quoi satisfaire simplement les besoins de la demande locale. Outre leurs déficits croissants et chroniques, les balances commerciales agro-alimentaires reflètent largement cet état de fait : des exportations polarisées sur, disons pour faire court des fruits et légumes - certains disent le hors-d'œuvre et le dessert d'un repas -, et des importations accaparées par des produits de base : céréales, huiles, sucres, produits laitiers, viandes - les plats de base et de résistance en somme. Une situation qui illustre on ne peut mieux l'état de dépendance, voire d'insécurité alimentaire de la plupart des PSEM.

Les accords de coopération puis d'association sont-ils pour quelque chose dans cette situation ? Bien qu'il ne s'agit certes pas de nier le poids des «responsabilités internes» à chaque pays, il reste que le moins qu'on puisse dire est qu'en poussant les pays partenaires vers des modèles de production et de consommation aujourd'hui de toute évidence dans l'impasse, ces accords ont sensiblement contribué à nouer les fils de la crise actuelle...

Ceci étant, la question qu'il nous faut nous poser à présent est la suivante : le libre-échange est-il inéluctable ? Certes, on peut garder à l'esprit que tous les facteurs objectifs dont j'ai parlé tout à l'heure sont encore là et plaident toujours pour le maintien de l'exception agricole. Mais en même temps, chacun peut aisément constater que le rouleau compresseur du libre-échange est bien à l'œuvre, et jour après jour, chaque jour il avance... On peut bien sûr traîner encore quelques années çà et là dans le cadre de telle ou telle négociation internationale, tel «sommet» peut échouer et tel «cycle» de négociations à l'OMC peut durer beaucoup plus que prévu, mais ne nous leurrions pas, l'axe stratégique est clair : le monde va vers une libéralisation des échanges de plus en plus grande et l'objectif ultime des promoteurs de cette dynamique n'est autre que le libre-échange... Outre le cadre très porteur de l'OMC, il faut à mon avis noter aussi celui des accords régionaux ou bi-latéraux qui deviennent de plus en plus nombreux et pèsent de plus en plus lourd dans la balance libre-échangiste. A cet égard, je peux ouvrir une parenthèse pour illustrer mon propos par l'exemple du Maroc, celui plus précisément de l'accord de libre-échange qu'il a signé avec les Etats-Unis. Si on situe cet accord dans le contexte des différents

accords signés avec les autres partenaires du Maroc, mais surtout avec l'Union européenne naturellement, on s'aperçoit que le premier effet induit est l'engagement du pays dans une sorte de surenchère libre-échangiste. En effet, l'accord avec les Etats-Unis se veut un véritable accord de libre-échange, global et irréversible. Même en matière agricole, il ne reconnaît pas d'exception agricole, et même si les délais de démantèlement tarifaire de certains produits apparaissent assez longs (entre 15 et 20 ans), il n'en demeure pas moins que la voie est tracée, et le planning de libéralisation arrêté dans ses moindres détails... De sorte que, paradoxalement, à cet égard, les Etats-Unis apparaissent aujourd'hui vis-à-vis du Maroc dans une situation nettement plus «avancée» que l'Union européenne... Cette situation ne va évidemment pas durer longtemps, et l'on peut parier que lors des prochaines négociations qui devraient s'ouvrir en 2007 entre le Maroc et l'Union européenne, cette dernière fera tout pour y mettre un terme. On ne peut en effet imaginer que le partenaire européen se contentera d'un niveau de «concessions» inférieur à celui obtenu par les Etats-Unis. Les «exigences» partiront donc déjà du niveau atteint avec ces derniers, et voudront aller plus loin... On est donc bien pris dans une spirale libre-échangiste qui fera que plus on ouvre de possibilités de libre-échange avec tel partenaire, plus on est obligé de faire de même avec tel autre, et ainsi de suite.

Au total, je pense que si l'on convient donc que le sens, je ne dis pas de l'Histoire mais simplement de cette histoire-là, est pour l'instant bien clair, mais que le mouvement, s'agissant des échanges agricoles, sera plutôt ralenti par rapport à d'autres biens et services, on peut en déduire que si la prochaine décennie ne sera pas en l'occurrence celle du «grand soir», elle marquera néanmoins une rupture décisive avec le passé. Entre 2010 et 2020, on ne connaîtra pas encore le libre-échange total en matière de commerce agricole, mais on aura beaucoup avancé dans sa direction, on aura mis en place les fondements d'un libre-échange possible, et surtout on aura fortement remis en cause les mécanismes de protection actuels, et déstabilisé les systèmes de régulation qui ont fonctionné jusqu'à maintenant et préservé certains équilibres...

Je vois que M. le président me dit déjà qu'il me reste seulement 10 minutes, je vais donc accélérer mon rythme d'exposé, et en tout cas passer à la deuxième partie de ma communication, en essayant de répondre à la question suivante : quelles conséquences pour l'agriculture et l'alimentation en Méditerranée?

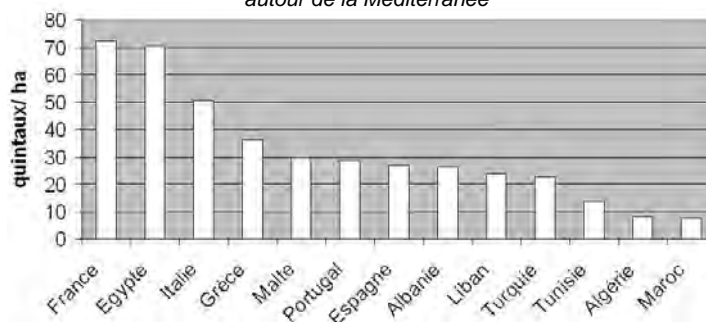
Quelles conséquences pour l'agriculture et l'alimentation en Méditerranée?

D'abord, attachons-nous aux tendances lourdes, celles qui sont à l'œuvre depuis longtemps et qui sont appelées à le rester pour de longues années encore. Pour gagner un peu de temps, je ne vais pas m'arrêter sur la démographie puisque cela a déjà été bien traité par mon prédécesseur. Un mot sur la question de l'immigration : il est évident que celle-ci continuera, s'accroîtra quels que soient les mécanismes et les dispositifs qu'on mettra en place pour essayer de la contenir. Ce qui veut dire que l'immigration continuera à empoisonner les relations euro-méditerranéennes, et par là-même, cela voudra dire que le premier pilier dont j'ai parlé tout à l'heure, le pilier politique et sécuritaire, continuera peut-être à s'affirmer au détriment des deux autres piliers qui sont quand même plus tendus vers le développement économique et social, il continuera donc, lui aussi, à brouiller un peu les relations euro-méditerranéennes, si ce n'est à les empoisonner...

Je voudrais surtout insister sur un point qui me paraît essentiel, il s'agit de l'ampleur des disparités, de l'asymétrie. S'il y a un mot qui caractérise les relations Nord-Sud en Méditerranée, c'est celui d'asymétrie. Tout est asymétrique autour de la Méditerranée. On est dans une situation assez curieuse où des partenaires, déjà très disparates au départ, n'en finissent pas de s'éloigner au fur et à mesure qu'ils entretiennent leur partenariat ! Je présente ici des données qui se recoupent largement avec celles avancées tout à l'heure par Vincent Dollé, tout en se passant de commentaires, tellement elles sont éloquentes. Prenons le PIB : 85 % du PIB de la région est au Nord, et 73 % du PIB agricole est aussi au Nord, et non au Sud. Passons aux échanges : 81 % du commerce extérieur et 93 % des exportations agricoles sont encore accaparés par les quelques pays européens de la rive Nord de la Méditerranée. Qu'en est-il de la productivité ? En gros, un actif au Nord produit 5 fois plus qu'au Sud... Comme on peut le constater sur la figure suivante, qui présente à titre indicatif l'éventail des rendements des céréales en Méditerranée, l'écart entre les 75 quintaux à l'hectare de la France et les 8 à 10 quintaux du Maroc ou de l'Algérie apparaît tout de même énorme...

Il n'est pas nécessaire d'aller plus loin dans la multiplication des indicateurs de disparités entre les rives Nord et Sud de la Méditerranée. Mais tout cela converge pour montrer pour quels pays il reste tout de même hasardeux, et pour ainsi dire insensé de vouloir mettre en compétition des agricultures ayant des performances aussi différentes...

Fig. 1 : Céréales : disparités des rendements autour de la Méditerranée



Que se passe-t-il aujourd'hui au niveau des politiques agricoles des pays méditerranéens ? En résumant, disons qu'au Nord, les réformes successives de la politique agricole commune reviennent à remettre en cause une politique qui a été à la fois très productiviste et cependant dotée d'un système de régulation très avancé. Cela étant, on sait encore peu de choses sur ce qui est en train de se mettre en place, les réformes entreprises n'ayant encore guère démontré leur capacité à assurer les conditions d'un redéploiement viable des capacités existantes. On ne sait pas encore par exemple l'impact - notamment au niveau de la production - du passage d'un système de régulation par les prix à un système de régulation par les revenus. En somme, on a l'impression qu'on a déstabilisé un système mais on ne sait pas encore ce qu'on est en train de mettre à sa place, et encore moins si l'on est en train d'inventer les conditions de son dépassement positif, notamment en termes d'une agriculture «raisonnée», multifonctionnelle...

Au Sud, curieusement, c'est un peu, toutes proportions gardées bien sûr, aussi ce qu'on a fait. Au Sud, ce sont les fameuses politiques d'ajustement structurel qui ont déstabilisé un système qu'on peut qualifier d'interventionniste pour faire vite. Ce système a pu remplir certaines fonctions avec plus ou moins de bonheur, mais là encore, ce qui est aujourd'hui certain, c'est qu'on a déstabilisé un système qui avait au moins le mérite d'exister, sans avoir à ce jour réussi à lui substituer un autre fondé sur le secteur privé et le marché. On n'a pas encore trouvé aujourd'hui le relais nécessaire au niveau du secteur privé pour établir les bases d'une sorte de nouveau pacte productif...

Voilà où en sont les choses de ce point de vue au Nord comme au Sud, de sorte que le grand défi de notre temps est bien de chercher à pérenniser une agriculture qui soit à la fois suffisamment «productive» pour sécuriser et donc nourrir sainement la population méditerranéenne, et en même temps qui soit assez «raisonnée» pour préserver les ressources et les terroirs de la Méditerranée.

Pour l'instant, c'est la libéralisation qui est à l'ordre du jour, et la question qui s'impose et même hante les esprits est bien celle de son impact sur l'agriculture. La question qui passionne en particulier les économistes depuis quelque temps est celle de l'impact du libre-échange sur les différents types d'exploitation, sur l'emploi, les revenus, les systèmes productifs... Pas mal d'études ont été réalisées sur ce sujet, et certaines ont même eu pour terrain de prédilection le Maroc ou la Tunisie. J'ai essayé de faire un travail de synthèse et d'en résumer les résultats les plus saillants et les plus consensuels en cinq points. En premier lieu, on s'accorde généralement sur le fait que les conséquences de la libéralisation vont être positives pour les consommateurs et négatives pour les producteurs. Le premier va bénéficier de la baisse des prix, le second va pâtir de la concurrence étrangère. Deuxième point, très souvent au Sud, on va assister à des détériorations encore plus accentuées

des balances commerciales, et la dépendance alimentaire va s'accroître. Troisième point, en termes de revenus, la baisse des revenus des producteurs est modérée en moyenne... Honnêtement, les études ne montrent pas des effondrements de revenus... Donc baisses modérées en moyenne mais fortes pour certaines catégories de producteurs et certaines régions (exploitations moyennes et systèmes de production traditionnels). Curieusement les petites exploitations peuvent s'en sortir lorsqu'elles disposent de revenus externes, et sont plutôt moins productrices que consommatrices. Les grandes exploitations modernes exportatrices sont généralement gagnantes parce que le libre-échange leur permet de tirer avantage de leur compétitivité.

Conclusions optimistes ? En fait, les conditions objectives qui prévalent, les tendances lourdes à l'œuvre, et en l'absence d'une stratégie d'accompagnement et de politiques de régulation appropriées, tout cela peut plutôt porter vers un certain pessimisme... Les scénarios pessimistes pourraient prendre le pas sur ceux à caractère optimiste.

J'en arrive à la question de la sécurité alimentaire, et malheureusement je constate qu'il me reste peu de temps pour en parler. Rapidement, je voudrais d'abord souligner que ce concept n'est pas perçu de la même manière au nord et au sud de la Méditerranée. Au Sud, nous en sommes encore à la dimension quantitative de la sécurité. La sécurité alimentaire pour nous est d'abord approchée en termes de disponibilité et d'accessibilité à l'alimentation. Ceci est du reste aussi l'approche de la FAO qui avait, lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996, affirmé que «la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active». L'existence d'une production, de la disponibilité des produits sur le marché ne suffit pas à assurer la sécurité alimentaire, encore faut-il pouvoir se permettre de payer cette production pour l'acquérir, ce qui soulève la question du niveau des revenus, du pouvoir d'achat de la population, des pauvres en particulier, lesquels peuvent être en insécurité alimentaire non pas parce que le produit n'existe pas mais parce qu'ils ne peuvent pas l'acquérir. Au Nord par contre, on n'est pas dans ce cas de figure (même s'il existe çà et là des «poches de pauvreté»). On est plutôt dans une situation où ce sont d'abord les aspects qualitatifs qui priment. La sécurité alimentaire, cela veut dire avant tout la sécurité sanitaire des produits alimentaires, et plus généralement leur rapport à la santé humaine et animale.

Cela étant, on aurait tort de croire que les deux approches sont exclusives l'une de l'autre, et qu'au Sud notamment, la dimension qualitative de la sécurité alimentaire ne se pose pas encore. Pour être plus précis, je voudrais ici revenir au modèle alimentaire méditerranéen évoqué tout à l'heure, le fameux «modèle crétois», modèle effectivement excellent du point de vue de la qualité de l'alimenta-

tion, équilibré et très favorable à la santé ; modèle de référence recommandé par l'OMS, la FAO, et d'autres organisations internationales. Mais ce à quoi on assiste aujourd'hui, c'est à une certaine dérive au Nord comme au Sud par rapport à ce modèle. Les évolutions à l'œuvre sont en effet défavorables, inquiétantes (figures 2 et 3, planche II). Au Nord, on en a parlé tout à l'heure, la mondialisation accélère l'extension, voire la généralisation du modèle dominant, disons pour faire vite, le modèle «Mac Do», avec une forte augmentation des apports énergétiques, et surtout leur répartition entre glucides, lipides et protéines (en faveur des produits animaux, sucres et matières grasses...). Mais en réalité, cette évolution est universelle. Au Sud, certes, le modèle alimentaire moyen reste encore traditionnel et distinct du modèle du Nord. On observe plutôt une accentuation des caractéristiques traditionnelles principales : céréales, légumes secs, sucres simples... Faute de pouvoir d'achat suffisant, la consommation des viandes et du lait reste en retrait. Cela étant, la mondialisation est à l'œuvre partout, peut-être plus lentement, mais l'extension du modèle dominant est également plus que perceptible dans les pays du Sud. Les habitudes de consommation, les comportements décrits tout à l'heure dans les pays du Nord, dans une certaine mesure, on les constate aussi dans des pays comme le Maroc, la Tunisie ou l'Égypte... Et les dérives au niveau des modèles de consommation y sont aussi inquiétantes. Avec peut-être ce paradoxe, déjà signalé, que le modèle de consommation évolue de manière encore plus décalée par rapport au modèle de production. En clair, je dirais que la malbouffe précède la mal-production, on apprend à consommer du Mac Do alors qu'on n'a tout simplement pas encore réglé le problème de la production... La dépendance n'en est que plus grande. J'insiste sur ce point parce que j'ai souvent entendu de la part de collègues du Nord que le problème chez nous n'est pour l'instant que «quantitatif». Je dis, pour notre bonheur ou notre malheur peu importe, que les deux défis se posent à nous en même temps : nous avons un problème de quantité et nous avons un problème de qualité de l'alimentation.

En guise de synthèse de cette partie, j'aimerais dire un mot de l'indicateur de qualité alimentaire (IQA), développé en Méditerranée par Martine Padilla à partir de travaux de Gerber *et al.* Ainsi, L'indicateur repose sur des scores attribués aux aliments en fonction de leur qualité par rapport à des recommandations d'institutions spécialisées. Comme on peut le voir sur le tableau 2, la situation en Méditerranée n'est pas catastrophique puisque finalement aucun IQA n'est

supérieur 13, niveau à partir duquel le score est considéré «très mauvais», mais elle est quand même peu rassurante car on observe au fil des ans, entre 1960 et 2000, une réduction sensible du nombre de pays ayant un score bon ou très bon en 1960 au profit de niveaux moyens ou même mauvais en 2000. Cela signifie clairement que dans l'ensemble la qualité de l'alimentation se dégrade.

Tableau 2 : Nombre de pays méditerranéens selon les scores de l'IQA

Years	0-4	5-6	7-9	10-12	13-18
1960	3	4	3	3	0
1970	1	3	8	1	0
1980	0	1	10	2	0
1990	0	1	9	3	0
2000	0	2	10	1	0
Type of IQA	Very good	Good	Average	Poor	Very poor

La qualité se dégrade, mais revenons encore à la «quantité»... Si les projections de la FAO à 2025 ne prévoient pas de problème de sécurité «quantitative» globalement en Méditerranée, les experts de la même organisation reconnaissent que les estimations «régionales» sont peu fiables. En tout cas, on s'accorde sur le fait que si les pays du nord de la Méditerranée risquent une insécurité alimentaire qualitative, les pays du Sud et certaines catégories vulnérables de la population, au Nord et au Sud, peuvent connaître en même temps les deux aspects de l'insécurité alimentaire.

Passons maintenant rapidement aux perspectives et à la dernière partie de cette présentation.

Pour une recherche au service du projet de région euro-méditerranéenne

J'ai dit tout à l'heure qu'il me semble que la vision de la zone de libre-échange est une mauvaise perspective parce qu'en fait elle ne situe le projet qu'au niveau du marché. Or, le problème est que quand vous êtes sur le marché, vous êtes déjà en état de concurrence et compétition. L'alternative, réellement tournée vers l'entente et l'avenir, doit se situer en amont du processus c'est-à-dire au niveau de la production et des systèmes productifs de la région euro-méditerranéenne. Qu'est-ce que cela veut dire concrètement ? Cela veut dire qu'il faut organiser les systèmes productifs de manière à faire en sorte qu'ils soient complémentaires. Il s'agit de travailler à construire des complémentarités sectorielles rationnelles. En matière agricole, je dirais que les complémentarités entre le Nord et le Sud sont plus faciles à construire qu'ailleurs, parce que fondées sur des facteurs naturels et compétitifs objectifs. Par exemple, si le Maroc dispose d'un avantage comparatif évident au niveau d'un certain nombre de fruits et légumes, il faut lui permettre de développer ces productions en leur ouvrant le plus largement possible les marchés européens du

Nord. En revanche, si la France réalise des rendements en blé dix fois supérieurs à ceux du Maroc, il paraît normal que le Maroc accepte qu'une partie de ses approvisionnements en céréales provienne de ce pays ou plus généralement de l'Union européenne. C'est cela la démarche en termes de complémentarité, ce n'est pas la «spécialisation» prônée par la théorie classique du libre-échange, mais un effort réfléchi d'organisation rationnelle de la production à l'échelle de l'ensemble d'une région - en l'occurrence la région euro-méditerranéenne - en tenant compte de facteurs économiques certes, mais aussi politiques et sociaux. Cela implique que l'Union européenne comme les PSEM assument les conséquences économiques, financières, sociales, voire politiques de ce choix. Notamment que, dans cette perspective, la sécurité alimentaire deviendrait collective parce qu'elle reposerait sur la capacité de l'ensemble de la «région» à assurer à sa population à la fois disponibilité et accessibilité à l'alimentation dans de bonnes conditions de sécurité sanitaire. Le concept de sécurité alimentaire collective aurait du sens parce qu'il s'inscrirait alors dans une vision politique et stratégique d'ensemble, et reposerait sur un projet collectif qui en garantirait la viabilité. Mais entendons-nous bien, complémentarité ne va pas sans solidarité, et le projet ne serait effectivement viable que si les mutations sont assumées par tous, chacun selon ses possibilités et ses contraintes, et accompagnées par des moyens et des systèmes de régulation conséquents.

En attendant ce projet ambitieux et, il faut bien le reconnaître, aujourd'hui pas mal utopique, je pense que l'Union européenne pourrait commencer par amender le contenu du partenariat Euromed. Par exemple, en acceptant de renégocier les accords d'association du processus de Barcelone sur de nouvelles bases de «réciprocité asymétrique», ou de «traitement spécial et différencié» bilatéral. L'Union européenne peut aussi étendre la logique

des programmes «*leader*» à l'est et au sud de la Méditerranée pour promouvoir le développement rural, et partant, la sécurité alimentaire. Elle peut encore faire bloc avec les PSEM dans les instances internationales où se négocient leurs intérêts communs, notamment à l'Organisation mondiale du commerce. Et ce ne sont pas les sujets où des efforts communs peuvent donner des résultats qui manquent : amélioration de l'accès aux marchés du Nord, création d'un fonds international pour financer les importations des pays importateurs nets, constitution de stocks céréaliers publics minima par les principaux pays agricoles... En contrepartie, les PSEM pourraient soutenir la thèse de la multifonctionnalité de l'agriculture...

Enfin, comment conclure cette communication autrement qu'en posant les questions de recherche soulevées précisément par le projet de région euro-méditerranéenne, du moins dans le domaine agricole auquel j'ai porté une attention particulière ici. A commencer par le modèle de «région euro-méditerranéenne» à promouvoir.

Quel modèle d'intégration régionale construire ? Avec quelles complémentarités ? Quelle réorganisation de l'espace agricole et rural autour de la Méditerranée ? Quelles reconversions promouvoir ? Quel modèle agricole est capable de concilier sécurité alimentaire et sécurité sanitaire ? Comment accroître la productivité au Sud tout en préservant les ressources naturelles et la santé humaine ? Comment valoriser les productions traditionnelles ?

Quelles solidarités instituer ? Comment faire évoluer des systèmes de régulation fondés sur les mécanismes des prix vers des systèmes d'aide aux revenus ?

Comment organiser la recherche dans les domaines de l'agriculture et de l'alimentation à l'échelle de la Méditerranée, et en améliorer l'efficacité ?

Comme on peut le constater, un vaste domaine de recherche est ainsi ouvert, à la mesure de l'ambitieux projet euro-méditerranéen qui devrait être le nôtre.

L'agriculture, la prochaine frontière d'Euromed ?¹

Moncef Cheikh-Rouhou

Professeur affilié, Groupe HEC, Paris

Je voudrais d'abord remercier les trois personnes qui m'ont précédé parce que l'essentiel a été dit et donc normalement, je devrais avoir besoin de moins de temps pour dire ce que j'ai à dire, mais je peux résumer mon impression en disant qu'il y a une bonne et une mauvaise nouvelles. La mauvaise nouvelle est que la situation est critique et la bonne nouvelle est qu'elle n'est pas désespé-

rée, mais il va falloir trouver des moyens pour continuer à avancer.

Je suis actuellement professeur associé à HEC à Paris, HEC dont le logo est devenu *Local Roots, Global Reach*,

¹ Transcription de l'exposé en français.

c'est-à-dire des racines locales en France et une couverture mondiale globale. Il y a 44 nationalités représentées dans le MBA où j'enseigne, et mon intérêt principal est lié à l'analyse et à la participation à la construction économique, financière, mais aussi sociale et politique entre l'Europe et ses voisins, que ce soit de Méditerranée ou des pays de l'Est.

Aujourd'hui, l'agriculture est donc un thème qui nous est très cher, mais je lance mon premier pavé dans la mare en disant : l'agriculture n'est-elle pas en train de devenir la vraie nouvelle frontière entre les pays d'Europe et de la Méditerranée ou entre la Méditerranée du Nord et la Méditerranée du Sud ?

Je reprends très rapidement ce qui a été présenté pour insister sur un aspect : les accords entre le nord et le sud de la Méditerranée ont été vraiment initiés à partir de Barcelone en 1995. Les accords de Barcelone 95 comprennent trois pans :

- Un pan industriel, qui est en train de se concrétiser puisque d'ici à 2 ans, la Tunisie, premier signataire, et le Maroc, deuxième signataire quelques années plus tard, auront des marchés industriels entièrement européens et vice-versa. Le producteur industriel à Casablanca, à Tétouan, à Tunis ou à Bizerte aura tout le marché européen à sa disposition sans absolument aucune limitation. Donc l'industrie semble fonctionner.
- Un pan, qui aurait pu être pris comme sécuritaire mais qui est politique, est l'exigence que la stabilité règne autour de la Méditerranée. La condition principale pour que la stabilité règne est la transition démocratique parlementaire. Un Indien, aussi anglais et américain, Amartya Sen, a reçu le Prix Nobel d'économie, il y a quelques années. Parmi ses écrits, la recherche principale qui lui a valu ce Nobel était la preuve qu'il a apportée que la plus grande démocratie du monde, qui n'est pas les Etats-Unis mais l'Inde, a cessé de connaître la famine le jour où elle a mis en place un système parlementaire - il n'est peut-être pas parfait, mais il y a un système démocratique parlementaire. La famine a cessé d'exister parce que les signaux étaient tirés très tôt à l'intérieur de ce système. Voilà pourquoi nous avons tous intérêt à ce que ce pan sécuritaire soit compris dans le sens le plus large possible, la stabilité réelle.
- Un pan humain : la recherche, l'enseignement, la femme et les droits de l'homme et de la femme. Ce troisième pan pourrait effectivement être un pont pour ce que nous pourrions proposer en fin de présentation.

En ce qui concerne le pan industriel, actuellement, quatre pays, la Tunisie, le Maroc, l'Egypte et la Jordanie, sont sur le point de finaliser complètement l'entrée dans cet accord d'ici à 2010 - 2012 au maximum puisqu'on a deux années de grâce -, et tous les quatre seront industriellement européens. Suivront l'Algérie, la Syrie et le

Liban. Au niveau des services entre l'Europe et le sud de la Méditerranée, il n'existe aucun accord. Tout a été abandonné à l'OMC, au GATS (General Agreement on Trade in Services) et est en train d'être négocié. Si vous voulez ouvrir un cabinet d'études, un bureau d'avocats, un centre de recherche, cela ne tombera pas sous la coupe de ce qui nous a été préparé par les accords Euromed, mais sous la coupe du GATS.

Enfin, l'agriculture, je confirme ce qu'a dit le Pr Akesbi, est un peu l'oubliée de cette histoire. L'agriculture, qui est le sujet du jour et qui nécessite un traitement urgent, aujourd'hui n'est pas du tout dans l'agenda de la construction euro-méditerranéenne. Pourtant, je vais essayer d'insister sur un point, à savoir le lien entre le traitement de l'agriculture et la lutte contre la pauvreté, qui est absolument vital.

Je commence par un certain nombre de données (tableau 1). Voici le montant des aides qui ont été distribuées aux fermiers des pays du Nord, des pays développés en 2001 - cela date un peu, mais il faut du temps pour reconstruire toutes ces données OCDE : il se montait à environ 251 milliards d'euro. Ce sont des montants énormes - vous avez parlé de MEDA, et MEDA, c'est 6 milliards d'euro sur cinq ans. On a donc là un «hit parade». Vous avez fait remarquer à juste titre que ces montants ne sont pas présentés ici par tête d'habitant, mais par région. Mais on trouve quand même que l'Union européenne mène la course avec environ 104 milliards d'euro. Les Etats-Unis la suivent avec 55 milliards d'euro et aussi, curieusement, le Japon avec 53 milliards d'euro pour une raison principale qui est que le Japon considère que son accès au riz est vital et qu'il est prêt à le payer le prix fort. On trouve la Corée pour la même raison, et d'autres pays auxquels on n'aurait pas pensé, comme la Pologne qui a une politique de renforcement de son agriculture. Donc ces politiques d'aide existent.

Tableau 1 : Aides distribuées aux fermiers des pays développés en 2001 (en millions d'euro)

European Union	103 937
U.S.	54 715
Japan	52 750
Korea	18 801
Mexico	7 299
Switzerland	4 706
Canada	4 386
Norway	2 427
Poland	1 616
Australia	923

251 560

Pour revenir à l'importante remarque du Pr Akesbi, si rien n'est construit entre l'Europe au nord et le Sud à ce sujet, que reste-t-il ? Il reste normalement la loi du marché, le libre-échange. Je vais m'attacher à démontrer que le libre-échange n'est pas encore là, et que même le libre-échange n'est pas facilement atteignable.

Il faut préciser que ces chiffres représentent la valeur totale des transferts des consommateurs et contribuables (Gouvernement) aux producteurs résultant des politiques agricoles, et j'attire seulement votre attention sur le fait que ces politiques ne datent pas d'hier, mais de 40 ans.

Donc aujourd'hui, il y a eu d'abord un accord entre les pays du Nord qu'on peut résumer en disant que le compromis qui a été atteint limite en fait les montants des subventions payées par les pays de l'Union européenne à leurs fermiers et les implications de ce compromis. Mais cet accord a des implications : les pays en développement ont continué à attirer l'attention sur le fait que ces paiements continuent à faire du mal à l'agriculture dans les pays du Sud. Le petit changement est dû au fait que la plupart des subventions seraient aujourd'hui basées non seulement sur la quantité produite par les pays du Nord, mais aussi sur la qualité, c'est-à-dire sur l'introduction d'une qualité de l'alimentation et de l'attention consacrée à l'écologie, ce qui est un élément majeur.

Le compromis est le suivant : l'Italie et la France ont tenu bon lors de ces négociations, comme on l'a vu récemment entre la France et la Grande-Bretagne, et ont obtenu en fin de compte que jusqu'à 25 % de ces subventions pour les céréales et jusqu'à 40 % de ces subventions pour la production bovine pourraient être liés à la quantité produite, le reste étant évidemment lié à ce qu'on a appelé élément de qualité et d'écologie. Donc le contenu «incitation à la production» continue à être relativement présent dans les pays du Nord.

Les implications sont que, à partir de cet accord :

- premièrement, on pourrait envisager d'autres réformes agricoles ;
- deuxièmement, on pourrait avoir des standards d'investissement internationaux non seulement dans l'industrie, mais aussi, demain, dans l'agriculture ;
- troisièmement, cela permettrait d'introduire des notions - importantes pour vous, chercheurs et centres de recherche - de brevets qui seraient couverts et protégés de manière plus efficace ;
- et d'autres éléments dont je ne parlerai pas aujourd'hui.

Actuellement, il y a dans le Nord deux systèmes de stabilisation du revenu des fermiers :

- ce qu'on appelle le système américain, mis en place par l'ancien ministre américain de l'Agriculture Brennan. Le plan Brennan a mis en place, depuis une cinquantaine d'années, un système qui garantit un prix aux producteurs. Le Gouvernement américain fixe un prix, les producteurs produisent, vendent, et tout ce

qu'ils ne vendent pas sur le marché, l'Etat l'achète à ce prix, et il en fait des sacs que nous connaissons tous, avec «*shake hand*» et le drapeau américain derrière. Ce système est donc fondé sur le prix à partir d'un prix cible, et nous allons voir ce qu'est le prix cible.

- l'Union européenne a une autre méthode qu'elle utilise pour payer les subventions et qui est une technique de quantité. Dans les deux cas, on veut pousser à la production, mais l'effet ne va pas être le même. Ici la surface emblavée est le critère sur lequel les paiements se faisaient. Il y a donc un effet d'incitation par la surface ou bien par la production.

Ces politiques sont-elles légitimes ?

J'ai tendance à répondre oui en ce qui concerne la tentative de stabilisation du revenu des producteurs agricoles. Chaque pays doit constater qu'il y a une donnée qui existe de par le monde, c'est que l'offre et la demande de produits agricoles ne ressemblent jamais à l'offre et la demande de produits industriels, et ce, parce que l'offre et la demande de produits agricoles sont toutes les deux extrêmement inélastiques. Leurs courbes sont très verticales, contrairement à l'industrie où elles sont relativement plates. Le résultat de cette inélasticité est que, dès qu'il y a une variation climatique ou dès qu'il y a une variation de la demande, la fluctuation des prix des produits agricoles devient énorme et le revenu des fermiers en est affecté. Donc stabiliser le revenu des producteurs agricoles est tout à fait légitime.

Deuxième raison : j'ai tendance à dire oui, car effectivement, la sécurité alimentaire est quelquefois extrêmement importante. Le Japon pense que cela vaut la peine de payer 53 milliards d'euro par an pour être sûr d'avoir du riz. Le Vietnam, il y a une quinzaine d'années, souvenez-vous, n'avait pas assez de riz, et a envahi le Cambodge pour s'assurer surtout l'accès au riz. Donc la sécurité de l'accès à l'aliment est un élément qui pourrait être favorisé par ces politiques de soutien à la production.

En revanche, il faudrait utiliser ces politiques avec beaucoup de précaution parce qu'il y a des effets pervers sur lesquels je voudrais insister. Ces techniques et ces méthodes de soutien des prix, dans les pays du Nord et de par le monde aujourd'hui, faussent le système de marché. Nous ne sommes plus dans un système de libre concurrence, de libre marché, mais dans un système de prix qui sont manipulés par des considérations locales.

Cela fait-il du tort ou non aux pays du Tiers-Monde ? Il est clair que depuis Cancún, et après Cancún, les pays du Tiers-Monde tirent la sonnette d'alarme en disant : «oui, cela nous fait du tort».

Si l'on regarde la méthode américaine du plan Brennan où l'on fixe un prix et où l'on dit aux producteurs : «produisez, on achète la différence», et le système européen où l'on fixe des surfaces emblavées et des objectifs et où l'on dit : «on va intervenir pour garantir le revenu des producteurs», il est évident que le prix cible devrait

être théoriquement le prix d'équilibre si le libre marché existait (figure 1). Dans les deux cas, c'est ce qu'on appelle la cible dans les schémas de négociation internationale. Malheureusement, dans le système des soutiens à l'exportation - et merci d'avoir attiré mon attention sur ce point car il y a un système mondialisé de soutien des prix à l'exportation -, cette cible fait que le prix tel qu'il est perçu par les producteurs du Sud se trouve être au-dessous des prix mondiaux qui existent, même s'il n'y avait pas d'intervention.

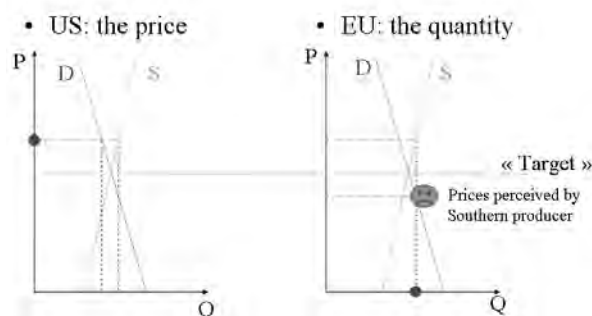


Fig. 1 : Les deux systèmes actuels

Pour résumer, si l'on n'avait rien fait, normalement on devrait être autour des prix cibles, des prix d'équilibre. En intervenant, d'une certaine manière, on finit, surtout par les encouragements aux exportations, par donner des prix artificiels sur le marché qui découragent la production dans les pays du Sud.

Quelles sont les propositions ?

Une proposition américaine se résume en trois parties :

- éliminer les subventions à l'exportation,
- ne pratiquer des tarifs douaniers qu'à concurrence de 25 % au maximum,
- réduire les paiements aux fermiers pour faire de la surproduction.

Les Américains disent qu'en faisant cela, on aurait une baisse de 100 milliards de dollars sur 5 ans (sur les 251 milliards d'euro).

Je vais demander au président de cette session d'avoir la gentillesse de nous résumer la proposition française de 2003, que je n'ai pas pu actualiser en raison d'un problème d'ordinateur.

B. Bachelier. –

En 2003, au moment de la préparation du Sommet d'Evian, la France avait proposé de mettre un moratoire sur les restitutions à l'exportation, ce qui provoque une diminution des prix du marché à l'export sur tous les produits de base à destination des pays les moins avancés. Je rappelle que cette proposition du Président Chirac avait

été acceptée en Conseil des ministres européen, et qu'elle a été bloquée parce que les Américains ont refusé de s'y rallier. Donc cette proposition américaine qui, derrière ce refus, souhaite la suppression des soutiens dans l'ensemble des pays, est une proposition qui ne va que vers la réduction des prix agricoles et pas vers le maintien des revenus agricoles. L'Europe a proposé à nouveau une suppression des restitutions à l'exportation sous réserve de réciprocité des Etats-Unis, proposition actuellement bloquée par le non accord des Etats-Unis.

M. Cheikh-Rouhou. –

Merci beaucoup, cher président. Le résultat est qu'on est toujours bloqué dans le Sud.

Une autre voie existe qui est très encourageante et qui a été renforcée après ce qui s'est passé en Asie lors du tsunami. La banque mondiale et le G8 sont en train d'œuvrer pour montrer le lien très intime entre le développement agricole, c'est-à-dire utilisation de politiques agricoles adéquates, et la lutte contre la pauvreté. L'échange agricole est un des facteurs-clés dans la lutte contre la pauvreté. Je dois attirer l'attention sur le fait que, si l'échange entre le nord et le sud de la Méditerranée est déficient en termes institutionnels, en termes d'organisation - et c'est l'une des propositions auxquelles je me rallie -, dans le sud même de la Méditerranée, l'échange est déficient : l'UMA (Union du Maghreb arabe) n'a rien fait pour encourager l'échange industriel ou agricole et l'UMA est ainsi la région du monde dans laquelle l'échange à l'intérieur de la région est le plus faible. Il est dépassé par les pays du Golfe où le taux d'échange, même faible, est encore plus important. Il est donc clair que l'agriculture, dans les pays du sud de la Méditerranée, souffre d'une double frontière : une frontière Nord/Sud et une frontière Sud/Sud.

Au passage, je ne peux m'empêcher d'attirer l'attention sur la proposition française du Président Chirac de participer à cette lutte contre la pauvreté en taxant les billets d'avion. C'est une bonne chose peut-être puisque cela apporte de l'argent, mais les pays qui reçoivent des touristes ne sont pas très heureux de voir ce genre de pratique se développer, et c'est de toute façon un apport modeste.

En conclusion, je pense qu'il faut travailler maintenant sur des accords Euroméd spécifiques à la zone et qui attirent l'attention sur l'importance vitale de l'agriculture. On ne peut pas parler de stabilité dans la région, ni de transition démocratique quand la pauvreté est en train soit de gagner, soit de plafonner à un certain niveau. La Tunisie avait des taux de pauvreté, on l'a vu tout à l'heure, qui sont restés globalement les mêmes ; même s'ils sont relativement bas, on aurait voulu les voir diminuer encore plus. Les autres pays, hormis l'Egypte, ont vu leur taux de pauvreté augmenter. Il y a un lien direct entre stabilité réelle, transition démocratique et évolution de la pauvreté. L'agriculture est au centre de tout cela.

Ensuite, il faudrait utiliser, dans la construction euro-méditerranéenne, une approche gagnant-gagnant. On ne

peut pas continuer à jouer au chat et à la souris. On ne peut pas tirer chacun la couverture à soi, d'autant plus que les données qui ont été présentées montrent clairement que la somme des revenus nationaux des pays du sud de la Méditerranée, de la Mauritanie jusqu'à la Turquie, ne se situe même pas au niveau du quart du revenu national italien. Si l'on ajoute les autres pays du Moyen-Orient non méditerranéens, c'est-à-dire pétroliers, nous arrivons, pour la zone appelée par la banque mondiale MENA (Middle East and North Africa), à un revenu égal à la moitié de celui de l'Italie. Donc, quand on parle de proposition de construction de programmes interméditerranéens pour la promotion de l'agriculture, nous ne pensons pas aujourd'hui que cela risque d'introduire, pour les partenaires européens, des bouleversements catastrophiques alors qu'en revanche, cela pourrait contribuer à promouvoir une évolution extrêmement intéressante pour les deux parties.

La communication sur la politique agricole et sur la recherche est fondamentale. Ce que vous faites ici, ce que fait Robert Klapisch, ce que vous êtes en train d'échanger est fondamental et vital. Sans cette communication, tous ces appels à l'amélioration du système resteraient lettre morte. Ce n'est pas le travail des administrations toutes seules mais c'est aussi le travail des sociétés civiles.

Enfin, nous savons que la concurrence ne vient pas que des pays du Nord. Nous avons vu qu'entre les pays de l'UMA l'échange est insuffisant, mais aujourd'hui, nous savons que les producteurs de volailles sont attaqués directement non pas par la Belgique mais par la Thaïlande ; nous savons ce que le Brésil est en train de faire à d'autres pays du Sud. Donc ni les partenaires du Nord, ni les partenaires du Sud ne devraient se complaire dans ce qu'on appelle une compétition coupe-gorge qui risquerait de s'installer entre les pays du Sud car personne n'a rien à y gagner.

Table ronde¹

Najib Akesbi, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat

Bernard Bachelier, directeur de FARM, Paris

Moncef Cheikh-Rouhou, professeur affilié, Groupe HEC, Paris

Vincent Dollé, directeur du CIHEAM-IAMM (Institut agronomique méditerranéen de Montpellier)

B. Bachelier. –

Pour introduire le débat, je voudrais retirer des exposés précédents deux ou trois points.

D'abord on voit bien la difficulté de concevoir une zone de libre-échange équilibrée, parce que chacun des partenaires mène des politiques qui sont en évolution. La Politique agricole commune est en évolution, on le sait et on va en parler, les politiques nationales travaillent cette question, il n'y a pas de marchés au Sud - le Maroc, par exemple, passe un accord de libre-échange avec les Etats-Unis, etc. Donc il y a de nombreux déterminants, et concilier les productions nationales et les exportations est extrêmement compliqué. J'ai remarqué, de temps en temps, des mises en question des systèmes de régulation et, à d'autres moments, des mises en question du libre-échange, donc il est clair que tout cela est extrêmement complexe. Mais il serait intéressant qu'on puisse avoir votre avis, qu'on puisse en débattre. Une autre observation sur cette question des politiques : bien évidemment ni l'Afrique du Nord ni l'Europe ne sont seuls au monde et il y a un certain nombre de déterminants qui provien-

ent de la mondialisation et des négociations en cours à l'Organisation mondiale du commerce.

Deuxième chose, pour le calendrier de recherche, il y a quand même des questions déterminantes qui ont été posées sur l'adaptation des finalités de la recherche à une agriculture méditerranéenne et aux enjeux correspondants. Je retiens quand même une chose décisive : l'approvisionnement des denrées alimentaires du Sud n'est pas assuré par les pays du sud de la Méditerranée, et les rendements des produits de base ont très peu augmenté durant ces dernières années, donc on a un vrai problème. Effectivement on a des aléas climatiques, on a des contraintes écologiques majeures, et finalement, on a un problème majeur d'adaptation de nos résultats de recherche aux situations réelles. Et puis il y a bien évidemment bien d'autres questions que vous allez soulever, donc nous vous écoutons.

¹ Transcription des débats en français.

J. Brugère-Picoux. –

Je vais soulever une question de sécurité alimentaire puisque c'est le sujet. Vous avez parlé de la Thaïlande, et j'ai visité dans ce pays des élevages de porcs et de volailles, mais on n'y a pas la même sécurité alimentaire, surtout en matière d'utilisation des antibiotiques, que dans les pays européens. Nous, nous sommes soumis à des décisions drastiques, par exemple je vois qu'on a supprimé, et là je donne l'exemple des volailles, des produits qui étaient efficaces contre, par exemple, l'histomonose du dindon, ce qui coule la filière de la dinde en France parce qu'on n'a pas de produits efficaces. Donc on arrive à avoir des situations paradoxales en matière de sécurité des aliments en supprimant des produits qui étaient efficaces au niveau des volailles, avec pour conséquence qu'on va importer des produits de pays qui n'offriront pas la même sécurité alimentaire. Pour la Thaïlande, on est tranquille avec le H5N1, on n'importera rien en ce moment, mais il est sûr que nous avons ce problème de sécurité alimentaire qui est très important, avec des décisions parfois trop drastiques pour des problèmes de sécurité au niveau de l'utilisation de certains produits à la base, à la ferme.

B. Bachelier. –

Je ne sais pas si quelqu'un veut répondre à cette question. J'y reviendrai. Merci en tout cas de cette intervention, de ce rappel.

Un participant. –

Si vous le permettez, j'ai un petit commentaire à faire, et aussi une question à poser.

Concernant le commentaire, je vais commencer par emprunter à M. Akesbi la formule qu'il a utilisée de l'asymétrie qui existe entre le Nord et le Sud. Je pense que cette asymétrie ne peut commencer à être dissipée que quand le Nord commencera à s'intéresser aux problèmes qui sont réellement du Sud, et je vais prendre un exemple dans le domaine de la recherche en matière d'agriculture, c'est le palmier-dattier. La palmeraie au niveau du Maghreb se voit dégradée par le Nord, mais pratiquement, quand on propose au Nord de rechercher un remède, cela ne les intéresse pas. Je rappelle que la palmeraie est victime d'un parasite, un champignon, qui pratiquement ravage, on l'a vu tout à l'heure, toute la palmeraie au niveau du Maroc. Le Maroc est ainsi passé de l'état d'exportateur à celui d'importateur de dattes, et ce problème touche pratiquement la frontière entre l'Algérie et le Maroc. C'est donc un exemple où, peut-être, il ne faut compter que sur la collaboration Sud-Sud. On voit peut-être, dans cet axe-là, que la recherche peut se faire entre le Maroc et la Tunisie et commencer à donner quelques exemples.

La question est aussi destinée à M. Akesbi, au chercheur et surtout au politique qu'il est. Est-ce que la position du Maroc, n'est pas, je dirais, délicate et surtout inconfortable entre la signature des deux accords, entre la zone d'échange avec les Américains et celle avec les Européens, car en matière de politique agricole, ce qui

les oppose est beaucoup plus important ce qui les met en accord.

B. Bachelier. –

Est-ce qu'il y a d'autres questions sur les accords européen et américain ? Sinon je demande tout de suite à N. Akesbi de répondre à cette question qui a déjà une certaine ampleur.

N. Akesbi. –

Sur cette question, je crois qu'il y a un premier niveau, un premier degré d'évaluation, qui est de dire : finalement qui gagne, qui perd ? Entre nous, la réponse est tellement évidente et les disproportions entre les économies sont telles que la seule question qui mérite d'être posée est : pourquoi tout cela ? Il est évident que l'accord avec les Etats-Unis est un accord politique. Ce n'est pas un accord dont les déterminants sont économiques. Quand on fait le tableau, et on l'a fait, «du qui gagne, qui perd ?» produit par produit en matière agricole, il n'y a pas photo comme dirait l'autre. Allons maintenant au-delà de ce premier aspect, et vous avez raison de poser la question de cette manière. A mon avis, le plus important est qu'en fait cet accord créé des situations quasiment d'irréversibilité. Je veux dire par là qu'aujourd'hui, entre l'Union européenne et les Etats-Unis, le Maroc est au milieu. Vis-à-vis de l'Union européenne, cela dit, personne ne se contente aujourd'hui de ce niveau de zone de libre-échange. Si l'on pense réellement stratégie, si l'on pense région euro-méditerranéenne, si l'on sait que, de toute manière, la géographie impose sa loi, il est évident que nous ne serons jamais le Mexique des Etats-Unis, en revanche nous sommes le Maroc de l'Union européenne tout bêtement. Si l'on s'inscrit dans cette vision stratégique, l'étape qui suit la zone de libre-échange est l'union douanière, avant de passer au stade de l'union économique, etc. Mais aujourd'hui, en signant l'accord avec les Etats-Unis, nous avons quasiment définitivement compromis la possibilité de finir un accord d'union douanière un jour avec l'Union européenne. Parce que vous connaissez le principe : une union douanière, ce n'est pas seulement libéraliser les échanges entre les membres de l'union, c'est aussi établir ce qu'on appelle - ce qu'a fait l'Europe quand elle s'est construite -, le fameux tarif extérieur commun, ce qui veut dire protéger l'union par un tarif douanier, par exemple, qui puisse la protéger des partenaires qui sont en dehors de l'union. Donc, si demain nous voulons nous mettre en union douanière avec l'Union européenne, il faudrait effectivement qu'on puisse accepter d'établir un tarif commun avec l'Union européenne, mais contre les Etats-Unis par exemple, ce qui n'est plus possible. Nous ne pouvons pas en même temps être en union douanière avec l'Union européenne et en libre-échange avec les Etats-Unis. C'est là où cela me paraît quelque chose d'extrêmement dangereux, et ce sont malheureusement des questions auxquelles on ne pense pas, en tout cas qu'on ne débat pas encore au Maroc. Je le répète encore une

fois, au-delà du niveau «qui gagne, qui perd» sur les échanges, le plus grave à mon avis est dans le fait que nous nous sommes interdits, de manière un peu irréfléchie, des perspectives avec ce qui devrait, en principe, être notre zone de déploiement naturel.

R. Klapisch. –

Comme vous avez pu le voir, la salle a été très sensible au cri d'alarme que vous avez lancé, je crois que vous avez tout à fait raison de dénoncer une situation qui passe à une libéralisation excessive et néglige peut-être les déséquilibres fondamentaux. C'est sur ces déséquilibres fondamentaux que je peux peut-être vous faire une remarque parce que je ne sens pas tout à fait la cohérence de ce que vous dénoncez. Il est évident que l'agriculture au Sud est beaucoup moins productive disons d'un facteur 10 par personne, qu'au Nord. D'autre part, vous parlez aussi du danger que sont pour le Maroc et pour les pays du Sud, la surpopulation urbaine, l'exode rural, et pour les pays du Nord qui, évidemment, s'inquiètent de l'émigration. Or c'est là où je ne vous suivrai pas car supposez que, par un coup de baguette magique, grâce à Rubbia ou la Banque mondiale ou les alizés, tout à coup on arrive à trouver l'énergie, l'argent et les ressources pour rendre l'agriculture au Sud aussi productive qu'au Nord. Le résultat sera que vous allez avoir le même processus qu'au Nord, c'est-à-dire effectivement moins d'agriculteurs nécessaires et, par conséquent, vous n'aurez pas comme résultat d'arrêter l'émigration et l'exode rural. Donc je crois qu'il y a là une vraie contradiction et, personnellement, je crois que, tout en soutenant l'idée de l'autosuffisance alimentaire, de tout ce que vous voulez, la vraie solution est la sortie par le haut, vers la fameuse économie de la connaissance où, effectivement, il faudra peut-être revoir un jour certaines productions. Vous avez parlé du blé : on peut aussi remarquer que les Saoudiens s'obstinent à faire du blé avec de l'eau dessalée, je ne sais pas si c'est un bon emploi des ressources - ils peuvent se le permettre peut-être. Mais je crois qu'il y a une certaine rationalité qui doit s'imposer ; je ne dis pas qu'il faut la faire mécaniquement, mais il faut que chacun puisse trouver sa nature économique élémentaire là où il est supérieur - on ne va pas faire de dattes dans la région parisienne, par exemple ! Je crois qu'effectivement la bonne solution, qui ne sera pas pour demain, est de faire rentrer le Maroc, comme l'Inde, comme la Chine, dans l'économie de la connaissance qui permet essentiellement à une population qui va s'urbaniser, qu'on le veuille ou non, de vivre et de prospérer sans recours à des solutions dramatiques comme l'émigration, etc.

B. Bachelier. –

Merci Robert, qui veut répondre à cette question ?

J. Brugère-Picoux. –

Je voudrais répondre parce que nous avons l'expérience du marché de l'œuf. En France, nous avons industrialisé l'œuf. La Tunisie, qui est un très gros producteur

de volailles, n'a pas fait cette erreur, et je trouve que c'est important de connaître cette expérience : ils ont limité le nombre d'œufs, ils n'ont pas industrialisé, mais ils ont conservé la possibilité d'avoir de petits éleveurs, à partir desquels ils ont organisé la commercialisation des œufs, et donc il y a eu, en fait, un maintien des éleveurs qui n'ont pas été, comme chez nous, limités en nombre, parce qu'il y a eu une loi qui a permis justement d'éviter cette industrialisation excessive.

Un participant. –

Il faut trouver le juste équilibre, en fait... Une bonne productivité, c'est bien, mais ce n'est pas la peine que cela marche à une vitesse excessive et nous devons conserver l'équilibre entre l'autosuffisance et la conservation de nos bioressources, de nos ressources végétales.

B. Bachelier. –

Je vais dire quelques petites choses moi-même avant de passer la parole à N. Akesbi pour répondre à R. Klapisch. D'abord, je pense qu'effectivement il faut faciliter l'accès à d'autres formes de développement pour les pays du Sud. Cela dit, l'accès à la connaissance ou à l'innovation, à l'industrialisation n'est pas une baguette magique qui va nous exonérer et résoudre le problème de l'amélioration de la situation des agriculteurs. L'Europe l'a fait sur plusieurs décennies, pendant les Trente Glorieuses, en intégrant ses agriculteurs dans la cohésion nationale à un moment où il y avait des taux de croissance très élevés mais où il y avait, parallèlement, un accroissement de la productivité et des revenus des agriculteurs. Certes l'amélioration de la productivité passe probablement par une diminution du nombre d'agriculteurs et par un accroissement du travail par agriculteur. Cela dit, le ratio est d'abord sur les rendements à l'hectare et ensuite sur la productivité par personne. On peut accroître considérablement les rendements à l'hectare sous réserve qu'on y travaille sérieusement, sans pour autant provoquer immédiatement le regroupement des exploitations et l'exode rural. Je ne crois pas qu'aujourd'hui la plupart des pays en développement, notamment les pays peuplés de l'Afrique du Nord, puissent se passer d'une amélioration de la situation des agriculteurs et les plonger directement dans une industrialisation ou dans une économie de la connaissance. Même l'Inde qui est entrée dans l'économie de la connaissance avec des informaticiens, etc., a fait un travail de protection de son agriculture et d'améliorations grâce à la Révolution verte, qui a limité, assez bien finalement pendant plusieurs décennies, l'émigration rurale, faute de quoi les villes indiennes auraient explosé. Donc peut-être vas-tu trouver un front des agronomes sur l'exception agricole au sens de la souveraineté alimentaire et du fait que les terres ne se délocalisent pas ?

N. Akesbi. –

Je pense que tu as apporté une bonne partie de la réponse. Ce que je peux peut-être ajouter, simplement,

c'est qu'à mon avis, la question de l'émigration peut être dissociée de la question de la productivité agricole. Elle peut évidemment être associée si l'on veut opposer les choses, mais, dans le rapport avec l'Union européenne, je crois que le mouvement d'émigration, à la limite, peut être largement dissocié de la question agricole. L'attrait de l'Europe, l'absence de possibilité d'emplois sur place, que ce soit dans l'agriculture, dans l'industrie ou dans l'économie de la connaissance, jouent beaucoup plus. Mais il ne faut pas non plus oublier une chose, c'est qu'aujourd'hui l'Europe voit la question de l'émigration comme une sorte d'agression de l'extérieur. Or, vous le savez bien, toutes les prévisions, toutes les études prospectives sont concluantes sur cette question : dans 10, 15, 20 ans, l'Europe devra importer massivement de l'émigration et donc elle recevra cette émigration comme quelque chose de positif. Si j'ai évoqué la question de l'émigration, c'est simplement pour dire qu'il y a un échec agricole. C'est un facteur parmi d'autres, ce n'est pas le seul, mais c'est un facteur qui, effectivement, ne donne qu'une impulsion. En clair, le paysan, parce que la terre ne le nourrit plus, parce qu'il ne peut plus vivre là où il est, parce que le monde rural n'est pas vivable, disons les choses simplement, mais aussi parce qu'il n'y a pas d'alternative en ville dans nos pays, parce qu'il n'y a pas d'industries, etc., en est réduit à chercher à émigrer mais ce sont, à mon avis, des choses qu'il ne faut pas mélanger. Je laisse la parole à Vincent.

V. Dollé. –

Je voudrais me situer à un autre niveau du débat, et apporter une contribution sur trois pistes tout à fait modestes, mais qui permettraient, peut-être pas d'améliorer rapidement la situation, mais au moins d'éviter qu'elle se détériore à la même vitesse. Trois exemples :

- Créer des emplois et des revenus en milieu rural sur des filières non concurrentielles de celles des pays du Nord. Je pense par exemple qu'on tient un superbe sujet avec la filière dattière, c'est un produit à très haute valeur ajoutée, qui peut être même un produit quasiment de luxe avec un marché permanent lié au Ramadan. Il est en forte croissance en Europe du Nord, non concurrentiel, et il pourrait mettre en valeur des notions de terroir, de savoir-faire, de pratiques ancestrales, d'agriculture d'oasis, d'écosystèmes... Il y a un sujet fantastique, les scientifiques du Nord s'y intéressent. Pour ceux que cela intéresse, je viens de créer mon laboratoire... J'ai eu la chance de commencer ma carrière de chercheur au Maroc, à Marrakech, donc j'ai attrapé le virus très petit. Et c'est un très bon sujet parce que c'est un sujet scientifique de très haute qualité : comment maîtriser l'embryogenèse somatique, l'organogénèse, et, à partir de là, des variétés résistantes sélectionnées. Si, ensuite, on conditionne avec des produits locaux, cela permettrait de créer des emplois et des revenus localement. Cela veut donc dire qu'au moins ces gens-là qui sont dans le Sud

n'iront pas dans les villes du Nord en attendant le bateau à Melilla pour aller ailleurs.

- Toute l'agriculture péri-urbaine qui ne passe pas par les grands marchés exports, qui répond à des demandes de plus en plus croissantes de produits de qualité avec des eaux saines : il y a un sujet à la fois de recherche et de mise en œuvre de travaux de recherche déjà au point qui correspond à une demande forte et qui peut permettre de réconcilier le monde rural, le monde urbain et les échanges entre la ville et la campagne, sur des produits agricoles, avec des normes sanitaires, des activités d'éducation alimentaire en cantine, etc. Donc, là aussi, il y a un très bon sujet.
- Le troisième sujet sur lequel je pense qu'il faut travailler parce que c'est à plus long terme et qu'il est porteur d'avenir aussi, c'est comment les organisations professionnelles du Nord et celles du Sud, qui sont à conforter, s'organisent pour gérer elles-mêmes directement ces complémentarités de marché sur les filières qui peuvent être concurrentielles ? On ne produit pas le même produit au même moment au même endroit, donc rien que sur ces sujets, il faudrait s'organiser. Par exemple, le producteur de mandarines d'Espagne pourrait peut-être trouver un accord avec certains producteurs de clémentines à Alger ou ailleurs, sur des produits typés de garantie phytosanitaire par rapport à l'état de normes qu'il faut contourner. Cela implique une prise en charge progressive par les organisations professionnelles elles-mêmes, qui doivent se structurer pour être capables de faire des propositions argumentées et de faire pression pour que leurs gouvernements négocient différemment leurs accords. Pourquoi le Maroc a-t-il signé avec les Etats-Unis ? Parce qu'en fait personne ne l'a empêché de signer, parce qu'en face, il n'y a pas eu de professions agricoles organisées qui ont dit «arrêtez, sinon vous nous tuez parce qu'on ne pourra pas négocier avec l'Europe». Donc on peut rêver.

Je crois qu'il y a là trois petites pistes à des niveaux différents, qui permettront progressivement d'enranger les connaissances, de les développer, de les partager et très rapidement de déboucher sur des recherches finalisées avec des applications dans le développement des pays et qui vont améliorer la situation rurale et urbaine.

Une participante. –

La question s'adresse à M. Dollé : à propos de rendement, vous avez dit qu'un paysan du Nord produit l'équivalent de cinq paysans du Sud, à quoi reliez-vous ces déséquilibres ?

V. Dollé. –

Il y a un facteur très facile à identifier qui est celui lié à la mécanisation. En termes de rendement, l'agriculture manuelle n'est pas comparable à l'agriculture mécanisée, surtout en grande surface. On ne peut donc pas comparer,

et c'est la raison pour laquelle j'ai donné les limites de cette comparaison : si l'on fait des calculs arithmétiques et économiques, on peut dire effectivement que la productivité ou la valeur ajoutée par un agriculteur varient dans des rapports qui vont de 1 à 15 dans certains cas et de 1 à 5 dans la productivité. Mais ces indices permettent de donner des indications d'évolution. Ce n'est peut-être pas là-dessus qu'on va baser une politique d'échanges nouveaux mais c'est quand même avec cela qu'on peut mesurer les dérives et voir si, effectivement, ce fossé ne croît pas ou ne diminue pas. On sait d'autre part, que, même dans le Nord maintenant, on va se limiter en termes de productivité et de productivité par actif ou par surface, parce qu'on va chercher à avoir des productions avec moins de rendement mais pour lesquelles on a moins de dépenses de produits phytosanitaires, d'engrais et qui donc, globalement, vont laisser une marge plus grande. Ces points sont aussi d'autres éléments pour les économistes, et nous devons réfléchir en termes de marge beaucoup plus qu'en termes de productivité, de production et d'emprunts.

E. Guyon. –

Je voulais revenir sur cette histoire d'économie de la connaissance, en particulier en ce qui concerne la recherche agronomique. J'ai beaucoup travaillé depuis un an sur les CRAI, Centres de recherche agronomique internationaux, qui travaillent sur le riz, le blé, le maïs. Il y a actuellement un déficit de CRAI dans la zone méditerranéenne et sur les problèmes concernant la Méditerranée. La France aurait pu avoir un rôle majeur dans les CRAI, elle a finalement une position assez limitée parce qu'elle a ses propres instituts de recherche. Je me demande s'il n'y aurait pas une nécessité de mettre en place des CRAI, ou d'encourager les CRAI, qui ont été financés initialement par la Banque mondiale, à s'occuper de ces problèmes méditerranéens. Les problèmes méditerranéens sont des problèmes qualitatifs avant d'être quantitatifs, ils concernent la biodiversité, la nécessité de garder des banques d'espèces et cela me semble extrêmement important. Il est clair que pour l'humanité, en particulier pour le monde méditerranéen, cette recherche agronomique internationale doit se préoccuper des cultures qui sont des cultures méditerranéennes.

B. Bachelier. –

Cela dit, il n'y a pas de CRAI basé en Afrique du Nord, mais l'ICARDA, l'ICRISAT en Inde, et plusieurs autres travaillent sur des variétés, des espèces méditerranéennes.

Un participant. –

Dans cette vaste fresque qui a été dressée, il est un peu difficile de poser des questions très précises mais j'aurais deux commentaires et une question. Vous avez parlé d'asymétrie entre le Nord et le Sud, n'allons nous pas également vers une asymétrie de plus en plus marquée au sud de la Méditerranée ? Et dans ce contexte,

ne faut-il pas prêter une attention toute particulière, finalement, au soutien à des agricultures qui ne sont pas véritablement productives en termes de rentabilité, de compétitivité internationale mais qui présentent un intérêt : tout ce qui tourne autour de la petite agriculture familiale n'a-t-il pas encore un avenir pendant un certain temps, si on le considère en termes de maintien d'occupation d'espace, de préservation d'environnement, d'équilibres sociaux, d'équilibres territoriaux et régionaux ?

Second commentaire, on a bien vu à travers vos diverses interventions que, finalement, le devenir de l'agriculture se posait en termes de développement rural, de pluri-activités, de multifonctionnalités de l'espace rural. C'est déjà beaucoup plus marqué au Nord, mais cela le devient également au Sud. Les leviers de développement sont multiples : il y a l'agriculture, mais aussi la création d'emplois, la question environnementale. En termes de recherche, je pense que cela implique deux éléments importants dans la définition des programmes. Il faut tout d'abord mettre en place des programmes pluridisciplinaires. Dès qu'on travaille sur des questions d'agriculture, de développement rural, je pense qu'il est très important de concevoir des programmes qui associent les sciences de la nature et, en simplifiant, les sciences sociales, car on a tout à y gagner. Par ailleurs, même s'il y a des tendances lourdes, il ne faut jamais perdre de vue la diversité des situations aussi bien au Nord qu'au Sud. Il faut prendre en compte cette diversité régionale si la recherche veut être utile en termes de recherche finalisée et d'aide à la prise de décisions, en termes de politique de développement rural ou de politique d'aménagement.

Dernière remarque, qui est plus une question mais Vincent Dollé a commencé à y répondre : en écoutant le P^r Akesbi parler de systèmes productifs complémentaires, je me demandais comment on pouvait envisager cette perspective, disons dans la recomposition des centres de pouvoir aujourd'hui ? Je pensais à la montée de nouveaux acteurs, aux organisations professionnelles mais également au poids des régions : comment peut-on envisager le jeu des régions dans de nouvelles formes de coopération et peut-être de nouvelles complémentarités ou solidarités entre les deux rives de la Méditerranée ?

B. Bachelier. –

Merci, cela va être la dernière question, je crois, et je demanderai ensuite à chacun de donner quelques conclusions et la recommandation qu'il considère comme essentielle pour le projet de conclusions, de recommandations.

O.K. Ben Hassine. –

Ma question s'adresse à M. Dollé : ne pensez-vous pas que parmi les questions posées à la recherche, on pourrait inclure des préoccupations telles que l'étude de la valorisation des techniques traditionnelles en matière d'économie d'eau - et Dieu sait qu'il en existe en Afrique du Nord ? Une autre préoccupation est d'abord la recherche, ensuite l'étude de la possibilité de réintroduire

tion, pour les céréales, de variétés locales perdues. Dans chaque région, il y avait une variété adaptée à un micro-climat bien déterminé, qui supportait les conditions climatiques d'une diversité de régions. Il y avait donc une diversité de variétés que peut-être le pays ne possède pas mais qui existent peut-être dans des banques de gènes étrangères.

B. Bachelier. –

Merci madame. Pour que les choses se fassent dans l'ordre, je propose qu'on réponde aux deux questions posées. Je vous dirai ensuite un mot sur FARM, puis je repasserai la parole à chacun des intervenants pour qu'ils formulent très brièvement leurs recommandations.

N. Akesbi. –

Je vais répondre aux deux questions, mais il y aussi un point qui a été évoqué dans les exposés, notamment le vôtre, sur la question des subventions. Comme c'est très important parce qu'il y a eu des spécificités méditerranéennes, je voudrais l'aborder, et donc, si vous le permettez, je prendrai une minute de plus.

Sur la question du soutien à la petite agriculture, notamment l'agriculture familiale, je dirais : oui, mille fois oui, effectivement c'est là le vrai problème. En réalité, le paradoxe est que toutes les raisons qui font que les Européens, par exemple, sont essentiellement attachés à la multifonctionnalité rejoignent nos propres recommandations. Mais comme elle a été présentée, la multifonctionnalité a été, à mon avis, une maladresse. Tous les thèmes de la multifonctionnalité ont été mis en avant par l'Europe, dans un contexte de négociation, et la multifonctionnalité a été perçue par les non Européens, à commencer par les Méditerranéens, comme une sorte de cheval de Troie, destiné à permettre à l'Europe de continuer à protéger son agriculture sous couvert de multifonctionnalité. Il y a eu donc une sorte de réaction de rejet de l'opinion publique comme si, nous, au sud de la Méditerranée, nous étions contre la multifonctionnalité. Moi je dis non, que demandons-nous ? Nous avons besoin justement de protéger nos agricultures parce que nous voulons d'abord préserver une agriculture familiale, parce que nous voulons protéger des terroirs, parce que nous avons un évident problème de développement rural, que nous avons un problème de nécessité de protection d'un patrimoine, en clair, que nous avons besoin de garder des paysans. Je reprends la même expression, nous avons besoin de producteurs gardiens de la nature. Tout cela, ce sont des intérêts qui, en réalité, se rejoignent et ne se contredisent pas, et je pense que toutes ces raisons plaident pour la nécessité de multifonctionnalité.

Quant à la question de la complémentarité, là aussi je vous rejoins. Je n'ai peut-être pas été assez clair sur ce point, mais je pense qu'aujourd'hui les principaux obstacles à l'émergence d'un tel modèle sont évidemment les Etats parce que, derrière les Etats, il y a des intérêts, des structures, et d'autres choses. En revanche, si l'on

aborde la question à partir d'une sorte de porte d'entrée qui essaye de mobiliser la société civile, ou pour dire les choses simplement, si l'on arrive effectivement à mettre en relation d'intérêt - intérêt bien compris des uns et des autres - les organisations professionnelles dans les filières au Nord et au Sud et à les mettre d'accord sur un projet qui peut être un projet de complémentarité, je crois qu'on arrivera à construire petit à petit cette complémentarité. Je dirais même, à la limite, qu'au bout du compte, les Etats viendraient consacrer, officialiser un ordre qui a commencé. Mais je crois que le point de départ se situe au niveau des organisations professionnelles.

Si vous le permettez, il y a un point qui me paraît important. On a dit dans les interventions et dans la discussion - et le constat est évidemment exact - que les subventions des pays, des Etats-Unis, de l'Europe, etc., pour un certain nombre de produits, sont en termes de volume, de dollars, effectivement considérables. On a dit aussi qu'en fin de compte, le résultat est que cela déprime les cours internationaux et que ce sont les petits producteurs, notamment du Sud, qui en payent les conséquences. Ce n'est pas le constat en soi que je vais contester, mais, précisément au niveau de la Méditerranée et il ne faut pas qu'on l'oublie, il faut avoir le courage de dire nos contradictions. Quelle est la spécificité d'un pays comme le Maroc, mais aussi d'un pays comme la Tunisie ou comme l'Egypte ? C'est qu'en réalité nous sommes à la fois exportateurs de certains produits et importateurs nets de produits alimentaires de base. Nous avons deux têtes selon que nous sommes importateurs ou exportateurs. Je prends un cas qui est réel : sur le marché russe, quand l'exportateur marocain vend une tomate ou une orange plutôt à 1 € son concurrent européen peut toucher un autre euro uniquement sous forme de subvention de l'Union européenne. Donc c'est vrai, il y a effectivement une concurrence déloyale. Mais lorsque nous sommes importateurs de blé, comme je l'ai dit tout à l'heure, de sucre, d'huile, etc., nous profitons de ces subventions, en tant qu'importateurs, en tant que consommateurs. Disons-le clairement, c'est parce qu'il y a ces subventions que nous arrivons à manger moins cher. Si nous payons effectivement le blé peut-être 180 ou 200 dirhams aujourd'hui, c'est parce qu'il est subventionné et, encore une fois, nous consommons peu cher grâce aux subventions que le contribuable européen ou américain paye. C'est une réalité et c'est simplement pour introduire un peu de complexité, de perplexité dans nos analyses, que je fais cette remarque : attention aux analyses hâtives. Lorsque le Maroc, parlant officiellement à l'OMC, chante la même chanson que l'Argentine par exemple, un des pays du groupe de 15, ou le Brésil, qui, eux, ont des raisons objectives d'être contre les subventions aux exportations, moi je dis que, quelque part, le Maroc se fait hara-kiri. Nous sommes contre-productifs dans de telles positions, parce que notre intérêt bien compris est que ces exportations, ces subventions continuent. Quand vous faites la différence - et on a fait ce calcul -, en clair, quand

on se demande ce que le Maroc perd lorsqu'il exporte et ce qu'il gagne quand il importe, je vous assure, là aussi, qu'il n'y a pas photo : il est évident que ce que nous gagnons quand nous importons - et Dieu sait ce que nous importons, en fait je devrais dire que ce que nous importons est tellement important par rapport à ce que nous exportons que, là aussi, nous sommes gagnants. Donc, attention sur cette question des négociations à l'OMC, il faut savoir que nous avons des intérêts contradictoires mais c'est le reflet de nos situations contradictoires, paradoxales. Tout cela pour dire que nous pouvons avoir des convergences d'intérêts avec l'Europe notamment, alors qu'une analyse hâtive peut nous laisser penser que ce n'est peut-être pas le cas.

B. Bachelier. –

Merci Najib Akesbi, ces propos qui viennent d'être tenus sont très importants parce qu'ils sont tout à fait exacts et ils pointent la réalité hors de tout point de vue idéologique, et je vous remercie personnellement d'avoir su rappeler ces réalités. Je crois que Vincent a été interrogé et donc, il va répondre, et ensuite je vais vous présenter FARM.

V. Dollé. –

Effectivement j'étais interrogé sur l'intérêt de variétés locales. C'est vrai qu'il faut veiller à ne pas les perdre mais il faut vérifier qu'elles soient résistantes à des «maladies» qui sont malheureusement totalement mondialisées. Elles ne sont pas forcément toutes perdues mais je pense que de bonnes prospections permettraient de récupérer un nombre de variétés tout à fait intéressantes. Cela veut dire que la recherche agronomique se passe sur le terrain et, connaissant un peu les structures nationales de recherche agronomique, je ne crois pas qu'elles soient équipées pour faire un travail de terrain de base, proche des agriculteurs sur la maîtrise de ce potentiel génétique important.

Remarque rapide sur les CRAI : effectivement, Bernard Bachelier avait indiqué l'ICARDA. Mais je pense qu'on pourrait imaginer que les systèmes nationaux s'organisent pour se répartir les tâches, alors qu'on voit que les systèmes nationaux algériens, marocains et même tunisiens, investissent de façon non concertée sur les mêmes sujets. Pourquoi ne pas imaginer simplement que pour les céréales, ce soit plutôt un pays, que pour les agrumes, ce soit un autre, et pour les palmiers dattiers un troisième. Je pense que ce ne serait pas une grande révolution, qui implique un grand accord au niveau de l'humain ni une grande décision au niveau du CJ à Washington, à la Banque mondiale. Je crois que cela doit venir d'ici avec vos voisins.

Dernière chose qui me paraît très importante également : les collectivités locales peuvent appuyer les organisations professionnelles pour jouer un rôle important, et je porte à votre connaissance une organisation très intéressante, à savoir l'Organisation des régions et des départements de l'Arc latin, qui se met en place et qui veille

justement à créer des proximités entre recherche et développement dans les zones rurales pour une trentaine de régions et de départements du pourtour méditerranéen. La présidence de cette organisation échoit jusqu'à l'année prochaine, au Conseil général de l'Hérault, qui a comme objectif de mettre en place un observatoire sur l'évolution de la situation agricole alimentaire en Méditerranée : cela pourrait grandement continuer à fournir des données fiables pour bâtir cette agriculture durable euro-méditerranéenne.

B. Bachelier. –

Merci de vous préparer et ensuite vous aurez 30 secondes comme dans les émissions de télévision ! En attendant je vous présente le projet FARM, dont Najib Akesbi, que je ne connaissais pas encore, n'est pas encore fondateur, mais la dernière déclaration qu'il vient de faire lui en donne déjà les titres... Donc, un certain nombre d'entreprises françaises proposent de créer une Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde (FARM), dont l'objectif est d'aider les agricultures des pays en voie de développement. Comme cela a été un peu dit dans les derniers propos, nous voulons travailler d'abord pour les organisations professionnelles des pays du Sud, en tirant parti de l'expérience et du savoir-faire des professionnels du Nord avec trois modes d'actions : un lieu d'échanges, de réflexion et d'influence donc un peu ce que les Américains appellent un *think tank*, où, justement, j'invite nos partenaires à venir débattre pour que nous puissions formuler des propositions réalistes et opérationnelles ; ensuite une source d'informations et de formations : il a été dit combien l'accès aux informations, à la connaissance, mais aussi aux informations économiques était essentiel ; et enfin la participation à des actions aussi proches que possibles du terrain. Les thématiques reprennent celles dont on en a souvent entendu parler : souveraineté alimentaire et politiques agricoles, eau, électricité, commercialisation et logistique, innovation et progrès technique, règles du commerce international. Vous voyez combien tout cela recoupe ce qui a été dit. Il y a une première liste de fondateurs qui sont le Crédit Agricole, Casino, Suez, l'Agence française de développement, Limagrain, qui est une coopérative de production de semences française, Air France, les professions agricoles françaises dans leur ensemble, EDF, et quelques autres qui vont nous rejoindre. La Fondation a été lancée, elle a été annoncée par le Président Chirac lors du Dakar agricole, mais elle est essentiellement initiée par des acteurs économiques et c'est son originalité ; encore une fois, l'idée est de travailler avec des professionnels du Sud. Que tous ceux qui veulent des renseignements supplémentaires viennent les demander, j'ai une fiche de présentation et des coordonnées, et nous ne sommes pour l'instant qu'en phase de création.

Je vous remercie et je passe la parole à mes camarades pour dire, en un mot, la recommandation principale ou la conclusion principale qu'ils veulent donner.

N. Akesbi. –

Si vous me donnez une minute, je vais dire ce que je n'ai pas dit tout à l'heure, j'avais prévu de terminer sur une note optimiste. En fait, je voulais surtout vous dire que la recherche, en particulier sur le terrain du partenariat euro-méditerranéen, a fait l'objet début juin d'une rencontre entre une vingtaine d'universités du nord et du sud de la Méditerranée. Il en est sorti une sorte de déclaration, qu'on appelle la déclaration de Tarragone et qui met l'accent sur deux points : l'agriculture est justement un des domaines de recherche, à l'échelle de la Méditerranée, qui est considéré comme un des domaines les plus urgents : il faut s'y mettre ; le deuxième point est qu'il faut mettre en place les éléments, et je trouve l'expression même intéressante, d'une zone euro-méditerranéenne d'enseignement et de recherche : il faut commencer à travailler à l'édification d'une zone euro-méditerranéenne d'enseignement supérieur et de recherche.

B. Bachelier. –

Je crois que ce point doit faire l'objet du relevé de conclusions.

V. Dollé. –

J'irai tout à fait dans le même sens puisque c'était aussi dans les propositions que je n'ai pas eu le temps de montrer. Si j'avais un premier souhait ou un rêve, pourquoi ne pas imaginer modestement que nous pourrions contribuer à remobiliser les systèmes nationaux de recherche agronomique sur des priorités concertées. Par des échanges d'informations, par des séminaires, par des visites de terrain, pourquoi ne pas imaginer que les systèmes nationaux de recherche se concertent et décident de mise en œuvre de travaux régionaux, inter-régionaux, Nord-Sud, Est-Ouest sur des priorités concertées et en étroite relation. L'intéressant dans ces cas-là est de valoriser des résultats de recherche à des fins de formation et de pédagogie pour les futurs responsables de développement rural. Enfin, pourquoi ne pas imaginer qu'on puisse monter des collèges doctoraux euro-méditerranéens, c'est-à-dire mettre en œuvre un dispositif LMD, puisque tout le monde y vient même la France, donc pourquoi ne pas imaginer que sur certains sujets prioritaires pour la recherche agronomique, on monte des dispositifs d'enseignement et de recherche sous forme de collèges euro-méditerranéens pouvant aboutir à des avancées significatives dans des domaines de recherche prioritaire et former les gens sur des thématiques communes et

finalement créer progressivement un esprit méditerranéen sur ces sujets.

M. Cheikh-Rouhou. –

Du point de vue de la recherche, je ne peux que m'associer à ce qui a été dit mais je voudrais ajouter que toute construction n'est pérenne, n'est valable que si l'on tient compte des intérêts des deux parties, et il faudrait qu'on se pose clairement, naïvement, la question : est-ce que le Maroc, l'Algérie, la Mauritanie, la Tunisie, l'Égypte veulent demeurer éternellement consommateurs ou veulent-ils, pour certains produits, certaines plantations, devenir un peu maître de leur avenir ? On dit que l'Afrique du Nord était le grenier de Rome... L'économie, c'est la schizophrénie, nous sommes D^r Jekyll et M^r Hyde, producteur et consommateur en même temps, et cette schizophrénie fait qu'on doit décider au niveau national vers quoi on veut aller. Si l'on veut aller vers une éternelle économie de consommation, moi, je suis totalement d'accord, mais nous devons en assumer les conséquences. Nous avons eu, en Tunisie, du blé subventionné pendant très longtemps, mais quand on a arrêté les subventions, on a eu une révolution en 84. En revanche, si l'on veut devenir producteur, maître de son devenir pour certaines productions essentielles, alors il faut prendre le taureau par les cornes et je pense que c'est l'intérêt de l'Europe d'y contribuer : la meilleure contribution serait scientifique mais aussi la mise en place de la négociation, la mise en place d'une politique commune.

B. Bachelier. –

Je vais exprimer mon propre souhait, si vous me le permettez, à savoir que le maximum de partenaires africains participent à FARM, puisque c'est le projet dans lequel je me lance. Je le souhaite mais surtout, je voudrais dire que nous devons offrir la chance du progrès technique et de l'amélioration des rendements. Je le dis un peu volontairement avec une agriculture, certes économe des ressources naturelles et de l'environnement, mais avec de vraies améliorations de rendement compte tenu des contraintes écologiques pour améliorer les revenus. Nous ne devons pas nous résigner à une agriculture qui resterait dans une situation de pauvreté et de rendement trop réduit pour je ne sais quelles raisons. Pour cela, la recherche doit réunir une coalition scientifique qui nécessite le rassemblement de toutes les disciplines, et probablement de disciplines qui, aujourd'hui, ne sont pas encore de l'agronomie mais c'est une vraie révolution agronomique qu'il faut faire.

Session 6

Combattre la fracture numérique

Responsable de la session :

Guy Wormser

Directeur du LAL (Laboratoire de l'accélérateur linéaire), Orsay

Les e-sciences et la grille¹

Ken Peach

Directeur e-science, CCLRC (Council for the Central Laboratory of the Research Councils), Rutherford Appleton Laboratory

Introduction

L'e-science est devenue une activité de recherche courante, particulièrement dans certains pays, et couvre un large éventail de projets et domaines scientifiques. Elle est liée à la grille mais n'en est pas synonyme. La grille est une technologie d'application essentielle pour l'e-science et requiert beaucoup des concepts qui lui sont nécessaires (métadonnées, portails, etc.) pour être mise en œuvre avec succès ; mais grille et e-science ne devraient pas être confondues.

Si la physique des particules requiert indubitablement des besoins énormes en calcul informatique, qui représentent un défi informatique considérable, elle n'est pas la seule. Des défis équivalents existent dans tous les secteurs de la recherche - de la médecine et des sciences de la vie à l'environnement, la chimie, la physique et l'ingénierie. Le problème scientifique peut être différent, mais les méthodologies sous-jacentes ont beaucoup en commun.

Dans ce bref article, je passerai en revue quelques-uns de ces points communs, et j'indiquerai quelques-uns des principaux problèmes non résolus. Il est à noter que beaucoup des thèmes de cet article sont brillamment illustrés par d'autres présentations de cette session [1]-[3].

Note : J'ai ajouté, entre crochets, un ou deux commentaires ayant surgi lors de la discussion.

Qu'est-ce que l'e-science ?

Une simple recherche dans Google™ sur le mot e-science donne plus de 577 000 entrées ; une recherche similaire en octobre 2004 [5] avait donné 177 000 entrées.

Même en tenant compte des «parasites», cela représente un volume significatif et rapidement croissant d'activités. Les agences gouvernementales, les créateurs de politiques scientifiques, les universitaires et les universités, les sociétés savantes, la santé et l'industrie ont des sites d'e-science. Bien qu'il y ait beaucoup d'activité, il n'existe pas de définition officielle de l'e-science. Ma définition de l'e-science est : «la science qui peut être réalisée grâce à l'utilisation d'ordinateurs, en reliant plusieurs sources de données sur un sujet, généralement collectées indépendamment, pour en extraire de nouvelles informations allant au-delà de celles qui se trouvent dans chaque donnée prise séparément, et produire de nouvelles connaissances». Les concepts fondamentaux qui régissent essentiellement cette technologie en expansion sont liés à la question des différentes sources de données et à l'utilisation d'ordinateurs pour aider le scientifique à traiter la donnée et à extraire l'information qui conduit à une nouvelle connaissance/compréhension. La technique est particulièrement puissante lorsque diverses séries de données, obtenues à des fins, à l'origine, tout à fait différentes, peuvent être rapprochées pour traiter un nouveau problème qu'aucune des séries de données ne peut résoudre individuellement. Bien entendu, ceci a toujours été possible en principe, en combinant les résultats publiés de chacune des analyses et en essayant d'en extraire une connaissance, mais c'est souvent laborieux et parfois sujet à erreur (par exemple, tout le détail des conditions dans lesquelles les données ont été obtenues peut n'avoir pas été

¹ Traduction du texte original en anglais.

publié). La combinaison de données provenant des différentes sources devient encore plus laborieuse et sujette à interprétation erronée lorsque les expériences deviennent plus complexes, que la «granularité» de l'information diminue et que le volume de données s'accroît.

Réaliser les objectifs de l'e-science requiert le développement de plusieurs technologies de soutien :

- des réseaux sûrs et fiables : beaucoup d'applications dans tous les domaines (médecine, sciences de la vie, ingénierie, sciences de l'environnement, et les autres sciences physiques en plus de la physique des particules) ont ou auront de très importants volumes de données qui pourraient nécessiter d'être acheminés par le réseau, ou des volumes relativement modestes qui nécessitent d'être acheminés du dépositaire à l'application avec un latence lente requérant une largeur de bande considérable ;
- une description cohérente des données par des métadonnées - voir ci-après ;
- des portails exhaustifs, offrant la fonctionnalité et l'assurance dont le chercheur a besoin.

Beaucoup d'applications nécessiteront également des grilles informatiques, c'est-à-dire du stockage massif et du calcul à grande échelle.

Métadonnées et méta-analyse, leur importance

La méta-analyse - qui se définit en gros comme une «analyse des analyses des autres» - est de plus en plus répandue et prend une importance croissante. Cela n'est, bien entendu, pas une nouveauté en physique des particules - le Groupe de données sur les particules (*Particle Data Group*) produit le recueil [6] annuel des résultats en physique des particules - ; la figure 1 en montre un résultat type.

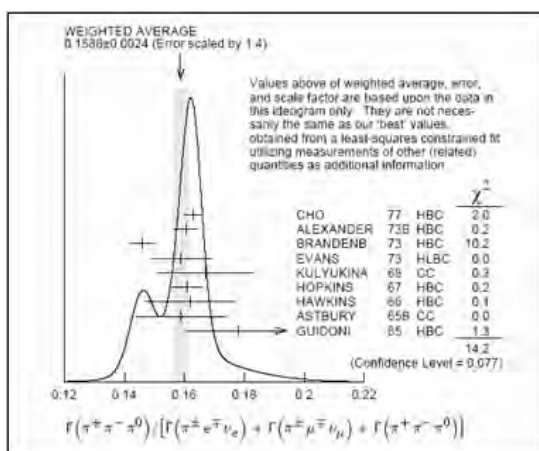


Fig. 1 : Une méta-analyse extraite des tables de données sur les particules (*Particle Data Tables*)

Un autre exemple significatif au Royaume-Uni est celui de la recherche, publiée récemment [7], d'une corrélation entre la vaccination contre la rougeole, les oreillons et la rubéole et l'augmentation de l'autisme. Les auteurs ont non seulement effectué de nouvelles recherches dans ce domaine mais ont également entrepris une revue systématique des autres études (une méta-analyse), dont le résultat a considérablement renforcé leurs propres découvertes, à savoir qu'il n'y a pas de lien démontrable. Je présume que cette méta-analyse ne s'est pas effectuée de manière particulièrement automatique.

Il y a deux remarques à faire sur la méta-analyse. La première est assez évidente - quoique cela puisse paraître, au premier abord, une manière facile de faire de la recherche (ce sont les autres qui font le travail difficile), il ne fait aucun doute que la confiance dans les conclusions d'une méta-analyse sérieuse, au-delà de celles d'une expérience isolée, est considérablement augmentée ; on tire de la figure 1 des conclusions très claires et simples. Le second point est que, sans un langage de métadonnées bien défini, il est difficile de voir comment le processus de méta-analyse peut être automatisé, ou rendu solide et facilement vérifiable.

Pour avoir une valeur générale, les métadonnées doivent être exhaustives, standardisées, vérifiées, et certifiées. Il faudrait aussi que cela ne soit pas plus compliqué qu'il n'est nécessaire. Il est utile de diviser les métadonnées en trois catégories :

1. Métadonnées géographiques, qui comprennent toutes les informations sur la localisation des données et sur les caractéristiques du «contenant». Dans un environnement distribué, on peut supposer que c'est généré, vérifié et certifié par le système, probablement la grille.
2. Métadonnées environnementales, qui comprennent toutes les informations sur les conditions dans lesquelles les données ont été obtenues. Certaines de ces informations sont communes à tous les sujets (qui, quand, où, comment), mais, à l'évidence, la description de ce que les données décrivent dépend du sujet.
3. Métadonnées structurelles : elles sont spécifiques au sujet, et décrivent ce que les données signifient.

[On a l'habitude, quand on parle de métadonnées, de se référer à l'ontologie - qui se définit en gros comme l'ensemble des entités pertinentes. La caractéristique importante de l'ontologie est qu'elle fournit une spécification de tous les attributs connaissables (dans ce contexte, à l'intérieur d'un domaine restreint). Cela n'est pas tout à fait aussi insignifiant qu'il y paraît, puisque les éléments de l'ontologie peuvent ne pas être évidents ou acceptés, et peuvent (par exemple) dépendre de l'échelle ou de la granularité. (Si le domaine d'étude est la migration de l'antilope ou du caribou, il n'est peut-être pas utile de commencer par les atomes et les molécules). Il est impor-

tant que le langage des métadonnées - qui peut être vu comme l'application de l'ontologie - soit commun à l'intérieur d'un domaine, et, là où c'est nécessaire, cohérent entre les domaines. (En principe, le vocabulaire des métadonnées pourrait être différent mais une traduction sans ambiguïté n'est possible que si l'ontologie sous-jacente est la même).

Beaucoup de domaines scientifiques ont fait des progrès significatifs dans le développement de descriptions appropriées des métadonnées. Ceci est essentiel si des données de sources différentes sur les mêmes systèmes ou des systèmes analogues doivent être combinées automatiquement et de manière transparente. [Ces points ont été bien illustrés par les propos de Nagi [1] et Petitdidier [3].]

Portails

Une partie² de la définition du *Chambers Dictionary* pour le mot portail est : «un site web, comprenant souvent un moteur de recherche, qui fournit l'accès à un large éventail d'autres sites». Le contexte de l'e-science nécessite une définition plus restrictive. Le portail fournit un accès structuré aux données, applique l'accès et les politiques de sécurité appropriés, et garantit la provenance des données. Un portail bien conçu aide le chercheur en fournissant une suite exhaustive d'opérations, en gérant le rythme de travail et en fournissant au chercheur l'information requise pour répondre aux questions posées. Avant de parler des aspects du portail, il est peut-être instructif de regarder quelques sites web qui ne sont pas des portails d'e-science³.

Le premier exemple est celui de GoogleTM. Il ne fait aucun doute que GoogleTM est un outil extraordinairement précieux - je n'aurai pas pu écrire cet article sans lui. Toutefois ce n'est pas un portail d'e-science. Pour le montrer, j'ai tapé «jus de carotte remède cancer» dans GoogleTM, et m'attendais à trouver quelques articles où les mots «jus de carotte», «remède» et «cancer» apparaissent dans différents contextes. Plus de 73 000 entrées ont été renvoyées. Ce qui surprend est qu'un grand nombre de ces sites fournissent des références à des remèdes contre le cancer comportant du jus de carotte, par exemple, la thérapie de Gerson qui rapporte qu'on donne aux malades «un verre de jus frais toutes les heures : cinq verres de jus de pommes-carottes, trois verres de jus de carotte pur avec des capsules de foie, quatre verres de jus de légumes verts à feuilles, riches en chlorophylle, fer, substances nutritives, enzymes, tout ce dont le corps a manqué au fil des ans».

Un exemple plus pertinent est celui du site web du Groupe de données sur les particules. Celui-ci donne accès à une information certifiée, de manière structurée, mais ne permet pas à l'utilisateur de manipuler les données. Par exemple, ce pourrait être intéressant de voir quel effet résulterait de l'omission du point de donnée

avec le grand χ^2 non seulement à partir de la figure 1 mais aussi de tous les graphiques associés.

Il existe maintenant beaucoup d'exemples de portails de données, dont quelques-uns sont illustrés dans cet atelier [1]-[3]. DiscoveryNet (informatique haute capacité de traitement) a pour but [10] de «concevoir, développer et mettre en œuvre une infrastructure avancée pour aider au traitement en temps réel, à l'intégration de l'interprétation, à la visualisation et l'extraction de grandes quantités de données aux délais très serrés, générées par des dispositifs à haute capacité de traitement» et a déjà bénéficié, par exemple [11], à l'étude de l'évolution moléculaire du coronavirus SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère). DAME [12] est un système avancé de diagnostic de santé en aéronautique.

Le CCLCR (Council for the Central Laboratory of the Research Councils) est en train de développer un portail de données afin d'offrir une méthode unique de navigation et de recherche dans les contenus de toutes les ressources de données du CCLRC en utilisant un catalogue central contenant des métadonnées sur toutes ces ressources. La structure des métadonnées suit un modèle scientifique formel de métadonnées qui est également en cours de développement. La figure 2 montre les relations entre le portail et le modèle de métadonnées.

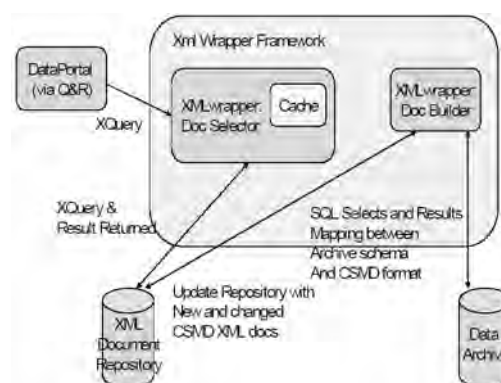


Fig. 2 : Portails et métadonnées, d'après [13]

² Une partie de la définition est : «une porte, spécialement une porte magnifique». Ceux d'entre nous qui ont eu le privilège de visiter la Grande Mosquée Hassan II ont vu plusieurs portes suffisamment magnifiques pour mériter l'appellation de portails.

³ Dans la présentation, j'ai cité John Naughton qui a écrit dans *L'Observer* que «n'importe quel imbécile peut écrire une page web et beaucoup l'ont fait». La citation exacte de sa rubrique du 23 juillet 2000 est : «[et] parce que n'importe quel imbécile peut créer un site web d'e-commerce, beaucoup d'imbéciles le font».

L'utilité de l'e-science dépendra beaucoup de la fonctionnalité des portails qui sont développés. Dans un monde qui change rapidement, les volumes de données et leur complexité augmentent rapidement, et le temps de réponse doit décroître rapidement. Les éruptions récentes en Asie du virus du SRAS, qui s'est rapidement propagé par le biais des voyages aériens en dehors de la région, et le problème aujourd'hui de l'ouragan Katrina, qui a dévasté La Nouvelle-Orléans et les Etats littoraux environnants, témoignent de façon éloquente de cette nécessité. Il y a également des demandes croissantes de la société sur la fiabilité de la science. Google™ est très bon pour de simples requêtes mais nécessite de l'interprétation et du jugement pour des requêtes plus compliquées. Le développement récent de Google Scholar™ va en quelque sorte dans cette direction en traitant certains de ces problèmes - le nombre de sites en réponse à la requête «jus de carotte remède cancer» passe de plus de 73 000 à 99, parmi lesquelles on trouve un article [15] sur la thérapie de Gerson. Bien que la thérapie de Gerson soit parmi «les régimes diététiques les plus connus et *quelque peu documentés*» [les italiques sont de moi], la seule étude directement rapportée note que sur 7 patients (parmi 149 au départ) qui s'en sont remis au seul régime de Gerson, on rapporte 3 rémissions complètes. Cependant (comme le note l'auteur) il n'y a pas eu d'études comparatives et peu de chance que de telles études soient menées ; par conséquent il est difficile d'interpréter significativement cette déclaration.

Reste à développer la certification des portails - qu'est-ce ce qui donne au chercheur l'assurance que le portail est exhaustif et précis ? Doivent également être développés les systèmes d'accréditation des portails et des ensembles de données. Il y a là clairement un rôle pour les sociétés professionnelles nationales et internationales, et peut-être pour les éditeurs universitaires. [L'efficacité d'une porte d'entrée dépend de l'intégrité du portier ; cela s'applique aussi aux portails].

Le développement des techniques d'e-science est une grande opportunité pour le monde en voie de développement - il y a une forme de «démocratie» ; n'importe qui (en principe) peut faire de l'e-science, n'importe quand et depuis n'importe où. Aussi, personne ne sait (aujourd'hui) ce que seront les applications-clés de l'e-science dans le futur. Néanmoins, la condition préalable est (comme Sreenivasan l'a souligné [16] lors de cette conférence) l'accès à un réseau adéquat (l'Internet). Bien qu'il y ait eu des progrès significatifs (voir Hoummada [17]) dans l'augmentation des largeurs de bande entre pays développés et pays en voie de développement, le rapport entre ces largeurs de bande ensemble et les largeurs de bande entre les régions en voie de développement ne diminue pas significativement. Enfin, comme Rubbia l'a souligné [18], un quart de la population mondiale n'a pas d'accès permanent à l'électricité, ce qui l'exclut totalement de tout ce qui est «e-». Ces questions requièrent une attention urgente si l'on veut que se réalise pleinement, pour

les nations en voie de développement, le potentiel offert par ce nouveau paradigme.

L'e-science et la grille

Les applications de l'e-science, y compris la physique des particules, requièrent l'accès aux données, le traitement, l'analyse, la simulation et la visualisation. Beaucoup de ces caractéristiques nécessitent une puissance de calcul à la pointe de ce que la technologie peut offrir. Jusqu'à présent, l'informatique de pointe et à grande échelle était du ressort des grands centres de calcul abritant d'énormes ordinateurs centraux, des supercalculateurs ou d'importantes grappes de stations de travail. Certains d'entre eux ont en effet une communauté d'utilisateurs unique ou fermée (par exemple les ordinateurs météorologiques), tandis que d'autres desservent une large communauté scientifique qui partage les ressources. L'idée de la grille informatique (souvent abrégée en «grille») prend modèle sur la grille électrique - l'utilisateur final de l'électricité (pour les toasts du petit-déjeuner) ne se préoccupe pas de savoir qui a produit l'électricité, où elle a été produite ni (excepté dans le contexte plus large de la politique énergétique) comment elle a été produite ; le courant est fourni à l'utilisateur à travers une simple prise. La grille (voir [19]) obéit à la même motivation - l'utilisateur s'occupe de la spécification du problème, et la grille trouve les données nécessaires, exécute les programmes requis et envoie les résultats sans que l'utilisateur sache ou ait besoin de savoir où le calcul a été effectivement fait.

Maintenant, quoiqu'il soit vrai que la manière la moins onéreuse de fournir une quantité donnée de puissance de calcul brute, et tout stockage de données associé, est de situer les deux au même endroit, il existe des raisons valables de développer le paradigme distribué. Une partie des sources de données sont naturellement distribuées, et les connecter nécessitera donc soit de les transporter, soit d'utiliser le réseau. Le modèle de l'informatique distribuée est intrinsèquement plus résistant, et fournit la possibilité de garantir que les données critiques soient toujours disponibles, même si une région entière est rendue impraticable (à cause d'une catastrophe naturelle ou d'une panne d'électricité). Le développement de la technologie de grille permettra, en principe, à des ressources informatiques énormes d'être exploitées en urgence. Comme signalé plus haut, on a des exemples récents où une puissance de calcul énorme aurait pu avoir un impact majeur en améliorant les effets défavorables d'une catastrophe naturelle. Sans être alarmiste, on peut imaginer des situations dans lesquelles l'accès immédiat à une informatique distribuée très importante puisse être essentiel - les effets d'une astéroïde sur une orbite qui l'amène en collision avec la Terre a déjà fait l'objet d'un film majeur [20]. Alors que d'énormes quantités de puissance de calcul existent indubitablement, on doit

aujourd'hui déployer des efforts considérables pour développer ou transférer une nouvelle application vers un réseau informatique distribué - avec l'évolution des technologies de grille, cela devrait devenir (à la longue) de la routine. Enfin, il y a l'effet psychologique de la grille sur l'engagement des communautés distribuées, et l'observation pragmatique que les ressources, qui ne seraient pas nécessairement disponibles autrement, pourraient être mises à disposition d'une informatique locale.

En apparence, la grille pourrait ressembler au World Wide Web inventé par Tim Berners-Lee et Robert Cailleur au CERN au début des années quatre-vingt-dix. On ne peut mettre en doute l'impact que le Web a eu sur la société - il y a bien peu de publicités qui n'affichent bien en vue un www.ceci.cern.ch. La société a tiré beaucoup de bénéfices du Web, mais celui-ci a aussi apporté quelques défis - contenus pour adultes, escroqueries, jeux d'argent, etc. Des descriptions de la grille à ses débuts comme « le web sous stéroïdes » et d'autres du même genre étaient fallacieuses. Le Web est délibérément anarchique et vaguement organisé - *caveat lector* - mais la grille est hautement, et nécessairement, structurée.

Bien des défis informatiques majeurs d'aujourd'hui, et du futur, se caractérisent par des grands volumes de données, du traitement massif de données, de l'analyse complexe, de la simulation détaillée et de la visualisation avancée. La physique des particules n'est unique que dans le sens où elle doit traiter tous ces défis actuels. Mais beaucoup d'autres disciplines (biologie, médecine, sciences de la Terre et de l'environnement, physique de la matière condensée et calculs en chimie, astronomie et cosmologie, et même les arts et lettres) ont des besoins qui se rapprochent déjà de ceux de la physique des particules, et dont beaucoup vont bientôt les dépasser.

Le développement de la grille de calcul du LHC (la LCG, LHC Computing Grid) est une étape majeure vers la production d'un modèle informatique distribué pratique, hétérogène, à grande échelle, capable d'assurer les énormes quantités de calcul (à la fois cycles UC et stockage de données) que nécessite le LHC. Lorsque le LHC fonctionnera à plein régime, les quatre expériences produiront un grand nombre de petabytes (10^{15} petabytes) de données brutes par an. Il est important, dans le développement du LHC, d'adopter des solutions générales de telle sorte que l'expérience acquise soit disponible pour d'autres applications nécessitant des calculs de haute performance. La LCG est déjà (septembre 2005) opérationnelle, avec plus de 16 000 UC et 5 petabytes de disques de stockage accessibles, répartis sur près de 200 sites dans des dizaines de pays à travers le monde. (Installé en un lieu unique, le coût du matériel *hardware* dépasserait les 40 M\$).

Un point-clé du développement de la grille informatique et du programme d'e-science, est de s'assurer que les technologies qui sont développées comme faisant partie du LCG, soient disponibles pour l'e-science et, de même, bénéficient de l'e-science et des dévelop-

pements de grilles dans d'autres domaines scientifiques. En Europe, l'EGEE (Enabling Grid for E-Science in Europe) financé par l'Union européenne en fait partie intégrante ; il existe des initiatives similaires dans d'autres régions. On a déjà des bénéfices significatifs issus de cette approche (voir [3]).

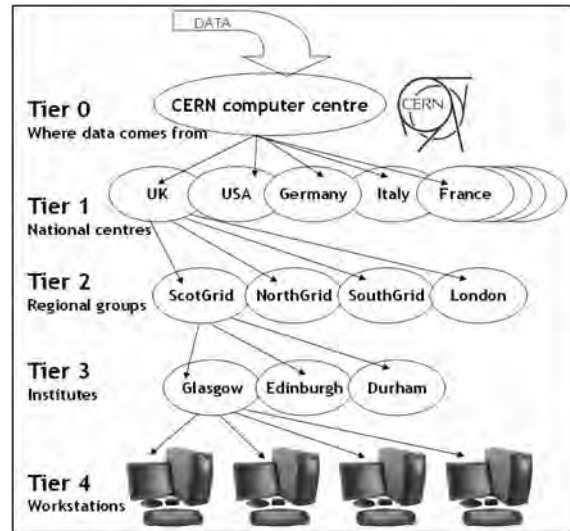


Fig. 3 : Structure de la grille de calcul du LHC utilisant le Royaume-Uni comme exemple de structure à niveaux sous le niveau 1

La LCG et d'autres grilles sont structurées en séries de niveaux (*tiers*) avec des potentialités et des fonctionnalités différentes, comme le montre la figure 3. Le niveau 0 reçoit les données directement des expériences et les distribue pour traitement aux centres participants du niveau 1 dans les divers pays. Les centres du niveau 2 (organisés régionalement au Royaume-Uni, mais ceux-ci pourraient être également hébergés par des centres de calcul ou des instituts spécialisés) fournissent la principale capacité d'analyse, et les niveaux 3 et 4 (ordinateurs de bureau ou portables) fournissent une capacité de calcul locale et (bien sûr) l'interface avec l'utilisateur. Mais, à partir de son portable, l'utilisateur a accès à toute la puissance du LCG !

Dans bien d'autres disciplines, la source de données est aussi distribuée mais le même diagramme est généralement applicable - il n'y a pas de niveau 0 mais la fédération des centres du niveau 1 fournit le dépositaire de données, auquel on accède directement ou indirectement à partir de l'ordinateur de bureau ou portable.

[La structure en couches de la grille signifie que le coût du matériel *hardware* nécessaire pour rejoindre le système sur l'une des couches les plus basses est relativement modeste. En dehors de l'ordinateur de bureau ou du portable dont le chercheur a besoin, une petite grappe de quatre ou cinq machines est suffisante pour créer une installation prototype de niveau 3, qui peut être

ensuite agrandie lorsque le financement devient accessible. De plus, le modèle régional de niveau 2 adopté par le Royaume-Uni - où, typiquement, 4 à 6 universités mettent en commun leurs ressources - pourraient fournir un modèle efficace pour de petits pays ou des pays en voie de développement, et même pour des régions en voie de développement.]

Quelques problèmes des grilles doivent être abordés. Une des différences majeures entre une grille et le Web est que, pour pouvoir accéder à une grille, l'utilisateur a besoin d'une «identité électronique». Bien sûr, certains sites sont «sécurisés» et requièrent un nom d'utilisateur et un mot de passe - habituellement délivrés par le propriétaire du site Web - autorisant l'accès. Cela fonctionne pour un petit nombre de sites, mais la prolifération des noms d'utilisateur et des mots de passe devient rapidement ingérable. Dans la monde des grilles, chaque utilisateur doit être accrédité (c'est-à-dire avoir reçu une identité électronique, un peu comme un passeport). Comme avec un passeport, l'identité électronique doit être délivrée par une autorité compétente - l'autorité certifiante - sous la forme d'un certificat électronique crypté. Chaque fois que l'utilisateur accède à la grille, l'identité électronique est authentifiée (de même que les passeports sont contrôlés à l'aéroport) et, une fois que l'identité est confirmée, l'utilisateur peut commencer à utiliser les services, sous réserve que l'autorisation appropriée lui ait été donnée. Ces trois processus - accréditation, authentification et autorisation - sont au cœur de la sécurité de la grille, et sont au centre de beaucoup d'activités de recherche, par exemple au sein d'EGEE.

La comparaison avec la grille électrique est instructive - ce qui est fourni est la puissance électrique (volts par ampères) - et il n'y a pas grand-chose d'autre qui ait besoin d'être spécifié (fréquence, phases, voltage). De plus, une fois que la grille a fourni la puissance électrique, l'implication des compagnies qui génèrent et distribuent celle-ci se limite à l'envoi de la facture - elle ne partagent pas la «propriété intellectuelle» que leur fourniture de puissance électrique rend possible. Toutefois, pour la grille informatique, il n'y a pas d'équivalent simple à la «puissance électrique» - un problème informatique est un mélange complexe de puissance de processeur central, de mémoire locale, de capacité d'entrée/sortie (vers la mémoire, la mémoire-cache, le disque et, via le réseau, vers les autres processeurs), et de stockage incessant. Le problème est encore compliqué du fait de l'«inflation négative» qui résulte de l'application inexorable de la «loi de Moore» à tous ces composants. Ces problèmes affectent déjà les modèles informatiques distribués de la génération actuelle d'expériences de physique des particules (BaBar, CDF et D0), et sont en cours de discussion dans le contexte des protocoles d'accord nécessités par le LHC. Enfin, ainsi que la ressource physique représentée par le *hardware* et les constructeurs, il y a le problème délicat de la valeur de la ressource réelle de la grille - les données, l'informa-

tion qui dérive de ces données, et la connaissance extraite de l'information. (Qui reçoit le prix Nobel : la personne qui a fourni les données, celle qui a traité les données et extrait l'information, ou celle qui en a compris la signification ?). Il est essentiel qu'une politique des données soit définie pour traiter ces questions.

La dernière série de problèmes de la grille concerne la sécurité des données. La sécurité physique est de la responsabilité de ceux qui gèrent la grille - sauvegarde régulière, reproduction, etc. Toutefois beaucoup d'applications (par exemple dans le domaine médical) doivent traiter une foule de problèmes - légaux, éthiques, exigence d'accès aux données-clés en totalité et avec précision tout en maintenant la confidentialité du patient. Un certain nombre de projets dans ce domaine ont résolu quelques-uns de ces problèmes, mais il reste encore beaucoup à faire.

«@home» computing

Si l'on applique la stricte définition des termes, les divers projets qui utilisent des cycles UC inutilisés (via des logiciels économiseurs d'écran) sur des ordinateurs domestiques ne relèvent ni de l'e-science ni des grilles ; ils fournissent des exemples graphiques de ce qui peut être réalisé dans un environnement distribué, et cela pourrait également fournir un modèle pour les pays moins développés pour progresser (de même que maximiser l'usage d'investissements précieux en matériel *hardware* et infrastructure).

Le pionnier de ces projets est «SETI@home» [21], la recherche d'intelligence extra-terrestre qui utilise les données obtenues par les radiotélescopes. Le 6 septembre (au moment où je présentais cette communication), la 2 milliardième unité de travail de base a été accomplie ! Le projet a déjà accumulé bien plus de 2 millions d'années de temps UC (voir figure 4, planche II). Malheureusement peut-être, aucun signal de vie extraterrestre n'a été trouvé... jusqu'à présent.

Un second exemple, issu de mon propre laboratoire, est encore plus remarquable. Un site Web (Muon1 [22]) a été créé par Stephen Brooks, un *graduate student* travaillant au laboratoire Rutherford Appleton du CCLRC, «pour simuler et concevoir des parties d'un accélérateur de particules». Jusqu'à présent ce site Web a accumulé plus de 16 millions de simulations (voir figure 5, planche II pour quelques échantillons de sorties de données). C'est remarquable parce que c'est de la recherche de première ligne pour une possible future usine à neutrinos - de la pure physique des particules. Près de 2 700 utilisateurs sur chaque continent ont contribué à ce travail.

Un dernier exemple du mouvement «@home» a une portée beaucoup plus considérable - climateprediction.net [23]. Ce projet a pour but de «produire une prévision du climat au XXI^e siècle» et a récemment publié [24] ses premiers résultats (voir figure 6, planche II).

Chacun de ces exemples démontre qu'il existe une capacité énorme «là-bas» qui est inutilisée, et, de plus, qu'il y a un grand nombre de personnes (dans l'absolu sinon relativement) qui sont prêtes à donner leur cycles d'unité centrale inutilisés pour une bonne cause. Bien sûr, tous les problèmes ne se prêtent pas à ce genre de déconstruction, mais cela montre ce qui est possible. [Au sein d'organisations, il est possible d'utiliser le système Condor [25] pour utiliser les capacités non employées].

Conservation des données

L'expansion rapide de tout ce qui est «e-» a créé un besoin urgent d'aborder la préservation à long terme de l'information numérique. Nous ne savons pas à l'avance si une information particulière a quelque valeur que soit sur le long terme, mais nous savons que beaucoup d'informations numériques sont de fait déjà perdues - stockées sur des supports qui ne peuvent plus être lus.

Pour illustrer ce problème, le premier site Web renvoyé par ma recherche dans Google™ d'octobre 2004 est montré dans la figure 7. Maintenant, je ne sais pas si l'information contenue dans ce site Web était vraiment importante, mais (étant donné l'algorithme de recherche de Google™) beaucoup d'auteurs de sites Web, à un certain moment, ont pensé que oui. Le problème est qu'il est maintenant très difficile d'en juger - l'information qu'il contenait a disparu du Web. (Du moins les responsables de ce site ont-ils eu la courtoisie de dire «au revoir» - beaucoup cessent tout simplement de faire vivre le site⁴.)

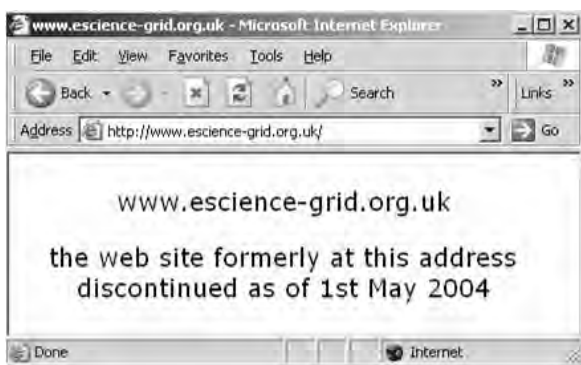


Fig. 7 : Le premier site Web renvoyé par la recherche sur «e-science» dans Google™

La présentation de Nagi [1], de la Bibliothèque alexandrine, aborde beaucoup de ces problèmes techniques. La première question à traiter est : «quoi conserver ?» : données brutes, données reconstituées et simulations associées, données sélectionnées, distributions, graphiques et tableaux, notes, ou publications finales. La seconde question est «pour combien de temps ?» : 5 ans, 50 ans, 500 ans ou 5 000 ans.

La première observation est que le problème (contrairement à la bibliothèque «papier») n'est pas le coût du stockage physique - du moins jusqu'à ce que la loi de Moore pour les technologies de stockage soit mise en défaut. Néanmoins, le «coût d'accès» aux données est un problème. Conserver les données (les «bits et bytes») est une corvée mais cela peut être automatisé avec l'introduction de nouvelles technologies. Plus difficile est la conservation de l'information contenue dans les données, et la connaissance qui en dérive. L'exigence essentielle pour les deux est que les métadonnées (pour accéder à l'information) et l'ontologie (pour la traduire en connaissance) soient stockées et gérées avec les données. La question associée est précisément de savoir qui a accès aux données/information/connaissance, et quand.

Ce n'est pas un problème pendant que les expériences fonctionnent. Cependant c'est un problème pour le savoir - l'histoire du développement de la science - et pourrait être un problème si une ré-analyse à la lumière de découvertes ultérieures était nécessaire. Même s'il est possible de lire les données issues d'expériences plus anciennes, il est très souvent difficile d'interpréter les résultats parce que beaucoup de «métadonnées de l'environnement» ont été perdues.

Tout cela souligne la nécessité de développer des politiques de conservation des données, et de s'engager à en financer les conséquences. La question, pas seulement pour la physique des particules ou même la science, mais aussi pour la société, est d'identifier les «tablettes de pierre» numériques, c'est-à-dire quelque chose qui reste lisible des centaines de millions d'années.

L'e-science en action

Il y a beaucoup d'exemples actuels d'e-science (selon la définition donnée plus haut). Cette nouvelle méthodologie a déjà un impact sur tout l'éventail des sciences, de la médecine et des sciences de la vie à la chimie, la physique et l'ingénierie. [Même le Conseil de recherches en arts et lettres du Royaume-Uni a un programme d'e-science]. Ceux-ci impliquent de nombreux usages innovants des métadonnées, des portails et des technologies de grille.

L'e-science est une nouvelle méthodologie. Jusqu'à présent il y a eu plus d'espoirs et d'idées que de réels succès, mais il y a un énorme investissement au niveau mondial, avec beaucoup d'enthousiasme - ce qui est bien car il y a beaucoup de questions importantes à traiter. Malgré sa complexité et son coût apparent, je crois qu'elle

⁴ Après que j'ai donné cet exemple l'an dernier, cela a été porté à l'attention des personnes compétentes. Ce site est maintenant référencé sur le site Web du Centre national d'e-science du Royaume-Uni - <http://www.nesc.ac.uk>.)

offre de grandes opportunités aux économies en voie de développement, y compris celles du Sud de la Méditerranée, d'y apporter leur contribution.

Remerciements

J'ai choisi d'illustrer un certain nombre de points en citant des exemples réels, choisis presque au hasard. C'est un plaisir de remercier, pour leur difficile travail, les nombreuses personnes qui ont développé et développent ces applications.

Je voudrais aussi remercier les organisateurs de cette conférence, et en particulier Robert Klapisch, de m'avoir invité à faire cette présentation, ce qui m'a stimulé dans ma réflexion sur ces questions. Les autres sessions ont été tout aussi stimulantes.

Bibliographie

- 1 NAGI M., The new Alexandrina: a Library for the digital age, this Conference.
- 2 MERROUCH R., The EUMEDGrid project, this Conference.
- 3 ZIMMERMANN M., JACQ N., Grid enabled discovery to address neglected diseases, presented by G. Wormser, this Conference.
- 4 PETITDIDIER M., Earth Sciences, this Conference.
- 5 PEACH K.J., The Impact of e-Science», Computing in High Energy Physics (CHEP), Interlaken, October 2004, <http://indicodev.cern.ch/getFile.py/access?contribId=523&sessionId=21&resId=0&materialId=paper&confId=0>
- 6 EIDELMAN S. *et al*, *Phys.Lett.*, 2004, B592, 1; see also <http://pdg.lbl.gov>.
- 7 SMEETH L. *et al.*, *The Lancet*, 2004, 364, 963.
- 8 A definition of Ontology plucked from the web is «the specification of a conceptualization», Tom Gruber, Stanford. Collins Dictionary definition includes «the set of entities presupposed by a theory».
- 9 See <http://www.healingdaily.com/conditions/Gerson-therapy.htm>.
- 10 See <http://www.discovery-on-the.net/>.
- 11 HAO P. *et al.*, Studying the molecular evolution of the SARS-coronavirus on the DiscoveryNet Environment, 2004, <http://www.jsbi.org/journal/GIW04/GIW04S08.pdf>
- 12 See <http://www.cs.york.ac.uk/dame/>.
- 13 DRINKWATER G. *et al.*, The CCLRC Data Portal, UK e-Science All Hands Meeting 2003.
- 14 MATTHEWS B., SUFI S., KLEESE VAN DAM K., The CCRLC Scientific Metadata Model, DL-TR-02001
- 15 GOODMAN S., Two Dietary Regimes for Cancer - Macrobiotics and Gerson, *Positive Health*, August 1994.
- 16 SREENIVASAN K., ICTP a model for excellence in doctoral and post doctoral training for the South, these proceedings.
- 17 HOUMMADA A., Report on the workshop in the Digital Divide, Korea, 2005, *ibid*.
- 18 Rubbia C., Energy for the 21st Century, these proceedings.
- 19 Foster I., Kesselman C. (Eds), *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*, Morgan-Kaufmann, 1999.
- 20 Armageddon, directed by Michael Bay, 1998.
- 21 See <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>.
- 22 See <http://stephenbrooks.org/muon1/>.
- 23 See <http://climateprediction.net/>.
- 24 STAINFORTH D.A. *et al.*, *Nature*, 2005, 433, 403-406.
- 25 LIVNY M. See <http://www.cs.wisc.edu/condor/>

Autres contributions

Réduire la fracture numérique à la Bibliothèque alexandrine, Magdy Nagi, Information and Technology Department, Bibliothèque alexandrine, Alexandrie

Présentation : 149 diapositives en anglais

Le projet EUMEDGRID, Abdellah Benyoussef, responsable du Réseau Marwan

Présentation : 16 diapositives en français

Atelier international ICFA sur le travail en réseau HEP, les grilles et les problèmes de fracture numérique pour l'e-science mondiale, Abdeslam Houmada, université Hassan II, Casablanca

Présentation : 22 diapositives en anglais

Application de la grille pour la découverte de médicaments, M. Hoffman, Fraunhofer Institut

Présentation : 16 diapositives en anglais

Applications de la grille en sciences de la Terre, Monique Petitdidier, EGEE

Présentation : 14 diapositives en anglais

Session 7

Participation des pays du Sud aux programmes internationaux : le CERN

Responsable de la session :

John Ellis

Conseiller du directeur général du CERN

La participation des pays du Sud aux programmes internationaux : le CERN n'est pas un «tunnel d'ivoire»¹

John Ellis

Développement de nouveaux partenariats scientifiques

Le CERN a quatre missions essentielles. D'abord et avant tout la recherche et la découverte scientifiques, dont il a produit beaucoup d'exemples durant le dernier demi-siècle. Ce n'était cependant pas la seule motivation pour fonder le CERN il y a plus de cinquante ans, et ce n'est pas la seule raison pour laquelle il continue de s'attirer le soutien des gouvernements européens et autres. Une autre mission importante est l'innovation technologique, qui produit des retombées sous forme de collaboration industrielle précieuse. Egalement importante est la formation supérieure : le CERN est un centre de développement des ressources humaines par bien des aspects, des écoles aux bourses post-doctorales. Enfin et pas des moindres, le CERN a plusieurs décennies d'expérience de collaboration internationale, non limitée à ses Etats-membres mais de plus en plus avec des Etats non membres extérieurs à l'Europe. Toutes ces missions de base permettent au CERN de servir de source potentielle de bénéfices pour les pays du Sud, ainsi que je vais vous l'exposer. Toutefois, rappelons tout d'abord les principaux objectifs scientifiques actuels du CERN.

Perspectives en physique des particules

Toutes les expériences sur la structure fondamentale de la matière sont bien décrites par le modèle standard de la physique des particules, qui a été proposé il y a à peu près 40 ans par Abdus Salam, Sheldon Glashow et Steven Weinberg. Le modèle standard a été soumis à des

tests critiques dans des expériences réalisées au CERN et ailleurs, et est en accord avec tous les résultats des laboratoires confirmés.

Ce succès laisse toutefois ouvertes beaucoup de questions importantes au-delà du modèle standard. Quelle est l'origine des masses des particules, et sont-elles dues à un nouveau type de particule, appelée boson de Higgs, comme l'ont suggéré Salam, Glashow et Weinberg ? Pourquoi y a-t-il tant de différents types de particules de matière, et la petite différence entre matière et anti-matière qui a été observée dans les expériences de laboratoire est-elle liée à la prépondérance de la matière dans d'Univers actuel ? Les forces fondamentales sont-elles unifiées, comme l'ont suggéré Einstein et d'autres ? Comment peut-on combiner la relativité générale et la mécanique quantique et formuler une vraie théorie quantique de la gravité ?

Le problème de l'origine des masses de particules semble le plus urgent. Newton a montré que le poids est proportionnel à la masse, et Einstein a montré comment l'énergie est liée à la masse, mais aucun des deux n'a expliqué d'où vient la masse au départ. Selon la théorie de Higgs, il existe un champ imprégnant tout l'espace, non encore observé, qui est responsable des masses des particules, et, associé à ce champ, un boson de Higgs pesant moins d'environ mille fois la masse du proton.

¹ Traduction du texte original en anglais.

Un autre problème fondamental qui pourrait être résolu dans ce même domaine «masse-énergie» est la nature de la matière noire invisible dont les astrophysiciens et les cosmologues nous disent qu'elle remplit l'Univers. Celle-ci pourrait bien être composée de particules massives faiblement interactives. Pour qu'elles aient la bonne densité résiduelle, ces particules de matière noire devraient également peser moins d'environ mille masses de proton. L'un des principaux candidats pour cette matière noire est fourni par la supersymétrie, une théorie qui serait également utile à la théorie de Higgs pour unifier les interactions fondamentales, et pour bâtir une théorie quantique de la gravité basée sur la théorie des cordes. La supersymétrie est donc l'un des principaux candidats pour une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Une autre suggestion fréquente est que les dimensions supplémentaires de l'espace pourraient apparaître à l'échelle du TeV.

Le Large Hadron Collider

Le Large Hadron Collider (LHC) est un accélérateur en construction au CERN, qui fera entrer en collision des paires de protons, chacun avec une énergie d'à peu près 7 000 fois la masse du proton, créant environ un milliard de collisions par seconde. La haute énergie et le taux de collision permettra au LHC d'explorer l'origine de la masse et la nature de la matière noire, comme de chercher des petites différences entre la matière et l'anti-matière, et de produire le plasma de quarks et de gluons dont on pense qu'il a rempli l'Univers pendant le premier milliardième de seconde de son existence.

L'accélérateur LHC est construit à l'intérieur d'un tunnel de 27 km de circonférence à une profondeur moyenne avoisinant les 100 m. Bien que la majeure partie de l'accélérateur soit fournie par les Etats-membres du CERN, il y a une importante contribution des Etats-Unis, de la Russie, du Japon, de l'Inde et du Canada, ainsi que des contributions plus modestes de l'Argentine et du Pakistan. La figure 1 montre l'installation de l'un des principaux aimants dipôle dans le tunnel du LHC.



Fig. 1 : Installation de l'un des aimants du LHC dans le tunnel de l'accélérateur

Le LHC aura quatre grands détecteurs expérimentaux, les deux plus grands (ATLAS et CMS) ayant été conçus pour les bosons de Higgs et les particules supersymétriques. La figure 2 montre une vue en coupe de l'ATLAS et du CMS. Leurs dimensions externes se mesurent en dizaines de mètres, tandis que leurs composants internes doivent être alignés avec une précision micrométrique.

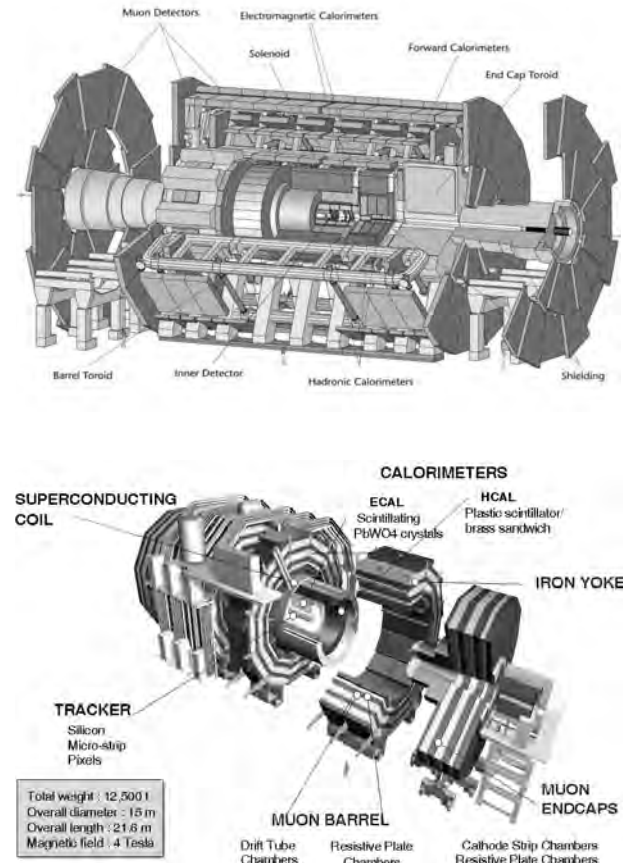


Fig. 2 : Vue en coupe des grands détecteurs ATLAS et CMS du LHC

La figure 3 montre quelques photos récentes de l'avancement de leur construction. Quelque 2 000 scientifiques et ingénieurs de nombreux pays du monde entier collaborent à la construction de chacun des détecteurs. Le LHC est un projet vraiment mondial, avec une participation significative des pays du Sud : Brésil, Maroc, Turquie, et potentiellement Argentine dans le cas d'ATLAS, et Pakistan, Iran, et potentiellement Brésil et Egypte dans le cas du CMS, ainsi que des pays du Nord non européens. La figure 4 montre, à gauche, le laboratoire, à Casablanca, où a été testée l'électronique pour le détecteur ATLAS, et, à droite, la visite d'un laboratoire de médecine physique au CERN par un professeur et ses étudiants des Emirats Arabes Unis, pays qui a récemment conclu un accord de coopération avec le CERN.



Fig. 3 : Avancement de la construction des détecteurs ATLAS et CMS

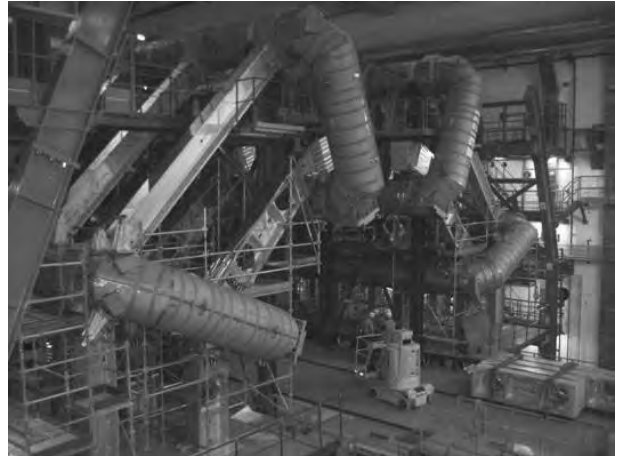


Fig. 4 : A gauche, le laboratoire de test d'ATLAS à Casablanca. A droite, une visite de scientifiques des Emirats Arabes Unis au CERN.

Innovation technologique

La physique médicale n'est qu'un des nombreux domaines où les technologies développées au CERN ont trouvé des applications intéressantes. L'exemple le plus frappant est peut-être le World-Wide Web, qui a été développé en 1990 pour permettre aux larges collaborations internationales de scientifiques travaillant avec le CERN de partager des informations. Le CERN décida non de faire breveter le World-Wide Web mais plutôt de le mettre à disposition du public, sans imaginer la révolution sociale planétaire que cela allait déclencher.

Comme évoqué lors d'une autre session de ce colloque, le CERN est maintenant le fer de lance de la nouvelle étape dans l'intégration des ressources informatiques mondiales : la grille. Cela permettra la création sur demande de puissants systèmes informatiques virtuels, à travers le partage mondial des mémoires informatiques, unités centrales et logiciels. La grille sera essentielle pour traiter et analyser toutes les données qui seront produites par le LHC, ce qui nécessitera une puissance informatique équivalente à environ 100 000 PC actuels.

La grille sera également très précieuse pour beaucoup d'autres applications scientifiques (et non scientifiques),

dont la médecine et la santé (pour l'imagerie, le diagnostic et les traitements), la bio-informatique (pour l'étude du génome et du protéome humains pour comprendre les maladies génétiques), les nanotechnologies (pour concevoir de nouveaux matériaux à l'échelle moléculaire), l'ingénierie (pour concevoir l'optimisation, la simulation, l'analyse de défauts, et l'accès à distance aux instruments et leur contrôle à distance), les ressources naturelles et l'environnement (pour les prévisions météorologiques, l'observation terrestre, la modélisation et la prédiction des catastrophes naturelles comme les tremblements de terre et les tsunamis). Beaucoup de ces applications sont potentiellement bénéfiques pour les pays du Sud, et le CERN tient à partager la technologie de grille avec les partenaires intéressés dans le monde entier.

Le CERN en tant qu'éducateur

Le CERN a des programmes de formation intensive, allant des visites scolaires et des cours pour les professeurs de lycée, à l'apprentissage et aux stages pour les étudiants de licence, aux formations pour les étudiants en technique et les doctorants, jusqu'aux bourses de recher-

che pour les post-doctorants. Le CERN est prêt à donner accès à ces programmes aux étudiants et scientifiques des pays du Sud. Le programme du CERN pour les professeurs de lycée (qui comptait deux participants mexicains en 2005), et les stages d'été pour les étudiants de licence (qui a toujours eu des étudiants du Sud, y compris, cette année, des participants venant de Thaïlande et de Madagascar) sont particulièrement intéressants.

Chaque année, le CERN organise aussi des stages de formation sous forme d'école pour étudiants avancés en informatique et physique des accélérateurs, ainsi qu'en physique des particules. Une année sur deux, l'école de physique est organisée conjointement avec le Centre latino-américain de physique (CLAF) : elles se sont déjà tenues au Brésil, au Mexique et en Argentine (en 2005), et la prochaine se tiendra au Chili en 2007. Nous envisageons également un cours de physique des accélérateurs en Inde, et sommes prêts à apporter notre soutien à d'autres cours régionaux en coopération avec les pays du Sud qui seraient intéressés.

Collaboration internationale

Il existe plusieurs niveaux de collaboration avec le CERN. Le statut de membre à part entière est ouvert aux pays européens intéressés, qui sont actuellement au nombre de 20. Les premiers Etats membres venaient d'Europe de l'Ouest, et ont été suivis, après la fin de la guerre froide, par plusieurs pays d'Europe de l'Est et d'Europe centrale. La fondation du CERN est en fait antérieure à l'Union européenne et son expansion vers l'Est a également précédé celle de l'Union.

Le statut de membre associé, avec des engagements financiers moindres et de ce fait moins de droits et de responsabilités, est ouvert aux pays non européens, mais aucun pays ne l'a encore adopté.

Un certain nombre de pays (Inde, Israël, Japon, Russie, Turquie et Etats-Unis) sont Etats observateurs, avec droit d'assister aux réunions du Conseil du CERN et de participer à ses discussions. L'UNESCO et la Commission européenne ont également un statut d'observateur.

De plus, le CERN a des accords de coopération avec les gouvernements, ou leurs agences, de 30 autres pays dans le monde entier. Parmi ceux-ci, beaucoup de pays de l'ex-Union soviétique, d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie, ainsi que des régions du Sud de la Méditerranée et du Moyen-Orient. En outre, des scientifiques d'une dizaine d'autres pays prennent part aux expériences de physique du CERN, et le CERN a établi des contacts préliminaires avec une douzaine d'autres pays.

Au total, plus de 6 000 scientifiques collaborent activement avec le CERN, dont environ un tiers viennent d'Etats non membres. Ces scientifiques restent basés dans leur universités et instituts de recherche, où ils préparent

les matériels *hardware* et *software*, et analysent les données. Ils viennent au CERN pour des périodes variables pour prendre des données, se former et rencontrer des scientifiques d'autres pays.

L'Union européenne a récemment financé le réseau scientifique HELEN, afin de développer davantage la collaboration qui existe entre l'Amérique latine et le CERN en finançant des séjours d'échanges scientifiques dans les deux sens. Un réseau similaire de technologie de l'information vient d'être approuvé par l'Union européenne. Le CERN serait heureux de chercher des financements pour des réseaux similaires afin de développer davantage de relations avec le sud de la Méditerranée, le Moyen-Orient et d'autres régions du monde.

Actuellement la Turquie et Israël sont des Etats observateurs au CERN, et nous avons des accords de coopération avec le Pakistan (depuis 1994, participation à l'expérience CMS), le Maroc (depuis 1997, participation à l'expérience ATLAS), l'Iran (depuis 2001, participation à l'expérience CMS) et la Jordanie (depuis 2004, couvrant le projet SESAME), et d'autres accords de coopération ont été passés avec l'Egypte, l'Arabie Saoudite et les Emirats Arabes Unis. Actuellement, l'Union européenne ne fournit pas de cadre analogue à celui du réseau HELEN, mais l'OTAN se préoccupe d'encourager la coopération scientifique dans cette région.

Voici quelques recommandations possibles à l'OTAN en ce sens :

- encourager les gouvernements locaux à faciliter la coopération en physique des hautes énergies et technologies associées, par exemple en organisant des ateliers régionaux ;
- fournir un soutien financier aux échanges scientifiques de part et d'autre de la Méditerranée ;
- travailler avec l'Union européenne pour financer des réseaux analogues à HELEN en physique des hautes énergies et technologie de l'information.

La physique est universelle

Comme je viens de l'exposer brièvement, la physique des particules aborde aussi des questions fondamentales sur l'origine et la composition de l'Univers. D'une certaine façon, les accélérateurs de particules sont des télescopes autant que des microscopes, et le laboratoire est un microcosme du macrocosme. Les objectifs de recherche du CERN abordent des questions scientifiques de fond qui intéressent l'humanité entière, et l'organisation est ouverte aux scientifiques intéressés de tous pays. La recherche menée au CERN requiert, développe et fournit l'accès à beaucoup de technologies de base d'intérêt général. En particulier, notre programme de recherche a la capacité de bénéficier significativement aux pays du Sud. Nous accueillons volontiers davantage de coopération d'un côté à l'autre et autour de la Méditerranée.

Après cette brève introduction au CERN et à ses partenariats en dehors de l'Europe, les intervenants suivants

présentent quelques exemples particuliers : Maroc, Iran, Egypte et Algérie, suivis d'une discussion générale.

Participation marocaine à l'expérience ATLAS¹

Driss Benchekroun

Pour le groupe ATLAS Maroc

Université Hassan II Ain Chock, faculté des sciences Ain Chock, Casablanca

Introduction

Depuis septembre 1996, le Maroc a été officiellement admis à participer à l'expérience ATLAS au CERN, devenant ainsi le premier pays arabe et africain participant à cette expérience qui regroupe actuellement 1 700 physiciens des cinq continents. Cette participation a commencé de façon non officielle depuis le début des années quatre-vingt-dix par la contribution de physiciens marocains au projet de recherche et développement du CERN RD3 et à la réalisation et l'exploitation d'une station d'irradiation auprès de l'accélérateur SARA à Grenoble.

Concernant les échanges entre laboratoires réalisés dans le cadre de ce projet, nous avons commencé par un ensemble de conventions d'échange entre les universités marocaines participant à ce projet et des laboratoires français. Ces conventions d'échange étaient des PICS (programme international de coopération scientifique) ou des PAI (programme d'actions intégrées) et avaient des durées limitées, ce qui représente un inconvénient pour des grands projets fonctionnant dans le long terme. Afin de pérenniser ces échanges, un GRDI (groupement de recherche international) regroupant la France, la Suède et le Maroc a été mis en place en 2004. Le Maroc est représenté dans le GDRI «Calorimétrie à argon liquide» par le Réseau universitaire de physique des hautes énergies (RUPHE), une structure regroupant quatre universités et le CNESTEN (Centre national de l'énergie des sciences et techniques nucléaires). La France étant représentée par trois universités et la Suède par le KTH (Institut royal de technologie) de Stockholm.

Dans cette communication, nous nous proposons de faire un bilan d'environ dix années de participation marocaine à l'expérience ATLAS ; les contributions précédant l'officialisation de cette participation seront également exposées.

Le LHC et le détecteur ATLAS

Le LHC (*Large Hadron Collider*) est un collisionneur proton-proton avec une énergie de 14 TeV dans le centre de masse (7 TeV par faisceau). Il sera opérationnel en 2007 et permettra de recréer les conditions qui régnaient dans l'Univers une picoseconde après le big-bang. Le LHC sera installé dans le tunnel du LEP (*Large Electron-Positron collider*), long de 27 km, et permettra à deux faisceaux de protons d'entrer en collision toutes les 25 nanosecondes. Le LHC est également conçu pour accélérer des ions lourds tels que les ions de plomb à une énergie dans le centre de masse de l'ordre de 1 148 TeV.

Le premier objectif du LHC est la recherche du boson de Higgs dont la découverte constitue la dernière preuve expérimentale du modèle standard de la physique des particules. La recherche d'éventuelles signatures d'une physique au-delà du modèle standard, par la découverte de nouvelles particules (particules supersymétriques, nouveaux bosons de jauge...) fait également partie du programme de physique du LHC.

ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*) est l'une des quatre expériences prévues auprès du LHC. Le détecteur ATLAS (figure 1) [1] a la forme d'un cylindre de 44 m de long et de 22 m de diamètre, pour un poids total de 7 000 tonnes. En partant du point de collision, les particules produites rencontrent successivement le détecteur interne, les calorimètres électromagnétique et hadronique et le spectromètre à muons. La participation marocaine à la construction d'ATLAS a concerné la partie du calorimètre électromagnétique à argon liquide.

¹ Texte original en français.

Nous allons détailler dans ce qui va suivre les différents aspects de la contribution marocaine à ce projet.

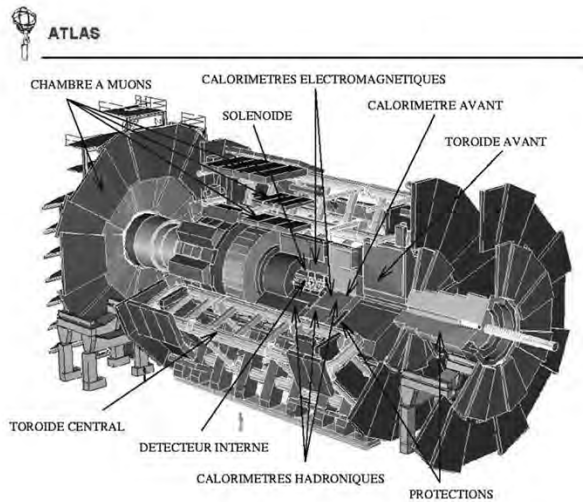


Fig. 1 : Le détecteur ATLAS.

Etude de la pollution de l'argon liquide par irradiation neutronique

Au LHC, chaque collision proton-proton produira de l'ordre d'une vingtaine de particules composées de pions, protons..., qui, par interaction avec la matière du détecteur et son environnement, produiront des neutrons. La fluence attendue au niveau du détecteur ATLAS sera de l'ordre de 10^{13} - 10^{14} neutrons par cm^2 et par an. Ce flux de neutrons pourra être à l'origine de la détérioration des performances des sous-détecteurs d'ATLAS. Le choix des matériaux des composants mécaniques et électroniques ayant la meilleure résistance possible au rayonnement neutron était primordial. Une station d'irradiation a donc été construite à Grenoble auprès du Système d'accélérateurs Rhône-Alpes (SARA) afin de permettre une sélection des matériaux vis-à-vis de la résistance aux neutrons. Les résultats de ces études [2] ont permis de sélectionner les matériaux peu polluants afin de réduire l'atténuation du signal du calorimètre électromagnétique pendant les dix années de fonctionnement du LHC.

Contribution à la construction du détecteur ATLAS et à la conception de l'électronique

Construction du pré-échantillonneur central d'ATLAS

Le pré-échantillonneur est un détecteur qui équipera la face avant du calorimètre électromagnétique afin d'améliorer sa résolution en énergie en mesurant l'ionisation produite par les pieds des gerbes. La construction du pré-échantillonneur a commencé en 1991 avec une pre-

mière version appelée *preshower* ou détecteur de pieds de gerbes [3]. Le pré-échantillonneur central d'ATLAS a été construit dans le cadre d'une collaboration entre le Maroc, la France et la Suède.

Le pré-échantillonneur est constitué de 64 secteurs identiques répartis sur deux demi-tonneaux. Chaque secteur est constitué de huit modules de différentes longueurs, chaque module est fait d'une succession d'électrodes (anodes et cathodes) séparées par un volume d'argon liquide actif (figure 2). Le nombre d'électrodes nécessaire à la construction du pré-échantillonneur est de 50 000 anodes et 50 000 cathodes. Le Maroc a pris en charge les tests de qualification de l'ensemble des anodes du pré-échantillonneur.

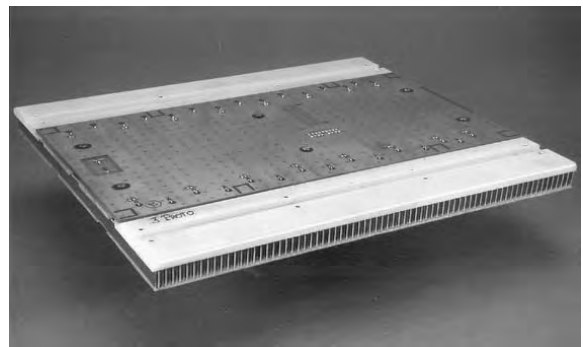


Fig. 2 : Photographie d'un module du pré-échantillonneur.

Après la soudure de quatre résistances de protection, chaque anode est soumise à un ensemble de tests comportant le contrôle d'épaisseur, la tenue de haute tension et les contrôles électriques réalisés à l'aide d'un banc de test conçu spécialement pour la qualification des anodes du pré-échantillonneur (figure 3). L'ensemble des étapes de construction du pré-échantillonneur central est détaillé dans la référence [4].

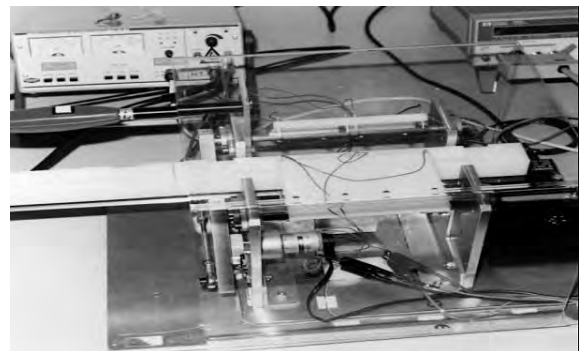


Fig. 3 : Banc de test des anodes du pré-échantillonneur.

Le groupe marocain a aussi à participé à l'insertion des secteurs du pré-échantillonneur (testés à Grenoble et

à Stockholm) devant les modules du calorimètre électromagnétique avant l'insertion de l'ensemble dans le cryostat (figure 4).

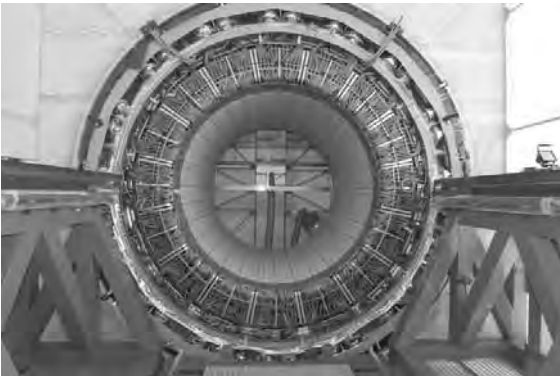


Fig. 4 : Insertion des secteurs du pré-échantillonneur au CERN.

Assemblage des modules du calorimètre électromagnétique

Le calorimètre électromagnétique d'ATLAS est un calorimètre à échantillonnage constitué d'une succession de plaques de plomb jouant le rôle d'absorbeurs et de couches actives remplies d'argon liquide. L'ensemble a une forme en accordéon. Au cours de séjours au LAPP (Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique des particules), des membres du groupe marocain ont participé aux opérations suivantes :

- assemblage et câblage du module de pré-série et de quelques modules réalisés au LAPP ;
- tests de qualification mécaniques et électriques effectués lors de l'empilage ;
- tests lors de la phase de câblage.

Contribution à l'électronique d'ATLAS

Le groupe marocain, en collaboration avec le Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble, a travaillé sur la mise au point d'un amplificateur auto-zéro pour l'expérience ATLAS [5]. Parmi toutes les solutions développées au sein de la collaboration, cet amplificateur a été adopté comme version de sauvegarde. L'amplificateur a été par la suite adapté pour être utilisé dans l'expérience EUSO (*Extreme Universe Observatory*).

Participation à la prise et à l'analyse des données du faisceau test

Les tests en faisceau constituent une étape importante lors de la construction d'un détecteur puisqu'ils permettent d'étudier les performances des différentes parties du détecteur dans des conditions proches des conditions de fonctionnement du détecteur auprès du LHC. Durant la période 1998-2003, des campagnes de tests en fais-

ceau ont été régulièrement organisées. La figure 5 montre deux secteurs du pré-échantillonneur montés en face d'un module du calorimètre avant leur insertion dans le cryostat pour des tests en faisceau.



Fig. 5 : Deux secteurs du pré-échantillonneur montés en face d'un module du calorimètre électromagnétique lors des tests en faisceau au CERN.

La participation marocaine à la prise de données et à l'analyse a concerné les tests du calorimètre électromagnétique (le calorimètre central et les bouchons du calorimètre électromagnétique). Les résultats de ces tests ont fait l'objet de plusieurs notes et articles [6]. La participation marocaine à l'analyse des données a porté sur les points suivants :

- étude des performances du calorimètre et du pré-échantillonneur (résolution en énergie, linéarité...)
- étude de la diaphonie et de la résolution en énergie des modules des bouchons du calorimètre électromagnétique.

Lors de l'année 2004, des tests combinés ont eu lieu au CERN (entre juillet et octobre). Ces tests associent des parties de toutes les composantes du détecteur (figure 6) et permettent de mieux comprendre le fonctionnement global du détecteur ainsi que de tester les programmes d'acquisition et d'analyse de données mis au point par la collaboration. Un séminaire sur l'analyse des données des tests combinés sera organisé au Maroc en décembre 2005.

Les données des différents tests sont comparées aux résultats des simulations Monte Carlo réalisées à l'aide des programmes Geant3 et Geant4 [7]. Le groupe marocain a pris la responsabilité de la mise au point et de la maintenance du programme de la géométrie du pré-échantillonneur [8]. Ce programme est ensuite intégré dans le programme de la géométrie globale d'ATLAS pour les simulations des tests en faisceau ou de processus physiques.

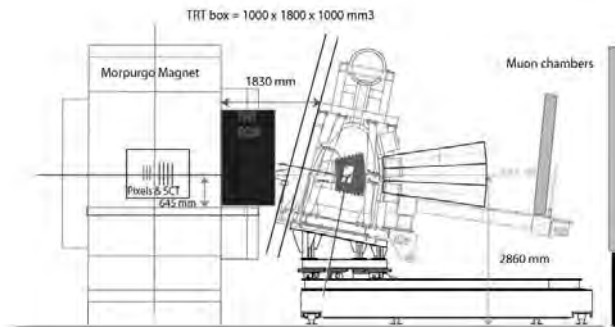


Fig. 6 : Dispositif expérimental des tests combinés.

Simulation de processus physiques au LHC

Les physiciens marocains sont aussi impliqués dans les travaux de simulation physique qui portent sur les possibilités d'observation de certains processus au LHC avec le détecteur ATLAS. Les sujets traités concernent aussi bien la physique du modèle standard que la recherche de nouvelles physiques prédites par ses extensions. Les études par simulation de processus physiques permettent également de mettre au point les stratégies qui seront utilisées lors de l'analyse des données réelles du LHC.

Parmi les sujets traités, nous pouvons citer :

- étude des possibilités d'observation des nouveaux bosons de jauge par le détecteur ATLAS [9] ;
- production des paires de bosons de Higgs neutres dans le cadre du modèle MSSM au LHC [10] ;
- détection des couplages trilineaires neutres dans la production des bosons de jauge ZZ et $Z\gamma$ [11] ;
- production de quarks b au LHC [12] ;
- détermination de la fonction de structure du gluon au LHC [13].

Conclusion

La participation marocaine au projet ATLAS a concerné plusieurs domaines et a nécessité d'énormes efforts de la part des physiciens marocains des hautes énergies. Les neuf premières années de cette participation ont eu un bilan scientifique très riche avec la publication de plusieurs articles et la soutenance de plusieurs thèses.

Les efforts sont actuellement concentrés sur la préparation des moyens humains et matériels pour l'analyse des données du LHC à partir de 2007. Un effort particulier est accordé à la mise en place d'un centre de calcul commun pour intégrer par la suite la grille de calcul du LHC.

Bibliographie

- 1 ATLAS collaboration, ATLAS Technical Proposal. CERN/LHCC/94-43.
- 2 BELYMAM A. *et al.*, *Nucl. Inst. And Meth. in Phys. Res. B*, 1998, 134, 217-223.
ANDRIEUX M.L. *et al.*, ATL-LARG-98.
ANDRIEUX M.L. *et al.*, *Nucl. Inst. And Meth. in Phys. Res. B*, 2001, 183, 337-346.
- 3 DAVIS R.D. *et al.*, *Nucl. Inst. And Meth. in Phys. Res. A*, 1997, 385, 47-57.
- 4 ANDRIEUX M.L. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2002, 479, Issues 2-3, 316.
- 5 DZAHINI D., GHAZLANE H., 8th Workshop on Electronics for LHC Experiments, septembre 2002, Colmar, France.
DZAHINI D., GHAZLANE H., 2003 IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference, Octobre 2003, Portland, Oregon, USA.
- 6 AKHMADALIEV A. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2000, 448, 461-477.
AKHMADALIEV A. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2002, 480, Issues 2-3, 508.
AUBERT B. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2003, 500, 178-201.
AUBERT B. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2003, 500, 202-231.
- 7 Geant4 collaboration, AGOSTINELLI S. *et al.*, *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A*, 2003, 506, 250-303.
- 8 BENCHEKROUN D., COLLOT J., *ATLAS Internal Note*, ATL-LARG-2001-015.
BENCHEKOUN D. *et al.*, CHEP'01 - Beijing - China, September 3-7, 2001.
BENCHEKOUN D. *et al.*, 10th International Conference on Calorimetry in High Energy Physics, CALOR2002, Pasadena, California, USA, March 25-29, 2002.
- 9 BENCHEKROUN D., DRIOUICHI C., HOUMMADA A., *Eur. Phys. Journal*, EPJdirect, 2001, Vol. 3, CN3, 1-17.
- 10 EL KACIMI M., LAFAYE R., *ATLAS Internal Note*, ATL-PHYS-2002-015.
- 11 HASSANI S., thèse université Paris Sud, 2002.
- 12 EL KACIMI M., GOUIDAMI D., LAFAYE R., CIS2003, 23-25 avril Marrakech-Maroc.
- 13 ABOUELOUFA EL M., CHERKAOUI R., *ATLAS Internal Note*, ATL-PHYS-2001-014.

Développement de la collaboration avec le CERN¹

Mohamed Sherif

Département de physique, faculté des sciences, université du Caire

Les relations entre l'Égypte et le CERN ont démarré à petite échelle au début des années quatre-vingt, puis se sont développées en janvier 2003 avec la création en commun, à l'université du Caire, d'un atelier de physique des hautes énergies. Il en est résulté un protocole d'accord entre le CERN, l'université du Caire et le National Center of Physics (NCP) au Pakistan. Les trois parties ont conclu un accord de coopération pour l'assemblage et la mise à l'essai des chambres à plaques résistives du détecteur CMS (*Compact Muon Solenoid*) du projet LHC (*Large Hadron Collider*) au CERN, ainsi que pour l'analyse des données du faisceau-test qui lui sont associées. Cet article du protocole d'accord n'a pas encore été mis en œuvre excepté six bourses d'études courtes offertes par le CERN à l'université du Caire, ce, en plus de bourses de formation offertes par COMSAT à l'université du Caire.

Ce retard à la mise en œuvre de certains articles du protocole d'accord est dû à de multiples raisons. La principale est le changement du ministre égyptien de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en 2004, qui a fait que l'accord entre le Gouvernement égyptien et le CERN n'est toujours pas signé. Le nouveau ministre a lancé une réforme majeure de la politique de recherche scientifique en Égypte et a différé la signature de tout accord au nom du Gouvernement égyptien jusqu'à ce que la réforme ait été au moins structurée.

Le ministre de l'Enseignement supérieur est maintenant en train de remplir les exigences administratives en vue de cet accord et devrait se rendre au CERN pour le signer. Le ministre va mettre en place un bureau de coordination entre le CERN et l'Égypte.

La collaboration entre l'Égypte et le CERN couvrira de nombreux domaines, y compris l'expérience CMS, les grilles informatiques, en plus des besoins des autres universités et centres de recherche égyptiens. L'avancement de ces travaux va dépendre de la mise à disposition d'une aide financière par le Gouvernement égyptien et/ou par des sources extérieures.

Evolution de 2003 à aujourd'hui

Le CERN a fourni à l'université du Caire six bourses de formation au CERN, ce qui a permis au côté égyptien d'approfondir ses connaissances en physique des particules et sur les futures expériences du CERN liées au LHC.

Le groupe de l'université du Caire a produit le premier article de recherche dans ce domaine à l'occasion de l'ICRC (International Cosmic Ray Conference) 2005 en Inde. Dans ce travail, le spectre d'énergie des muons pénétrant dans la caverne du CMS et initiés par des protons du rayonnement cosmique primaire sont donnés en échelle logarithmique dans les figures 1 et 2.

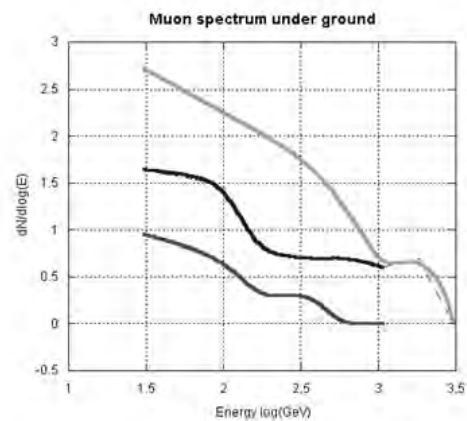


Fig. 1 : Les trois courbes correspondent aux énergies primaires, de bas en haut, 10^4 eV, 10^{15} eV et 10^{16} eV.

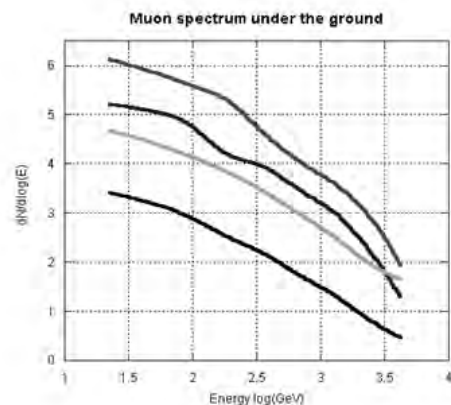


Fig. 2 : Les quatre courbes correspondent aux énergies primaires, de bas en haut, 10^{17} eV, 10^{18} eV, 10^{19} eV et 10^{20} eV.

¹ Traduction du texte original en anglais.

A mon avis, les expériences futures au CERN vont nécessiter une génération de chercheurs plus jeunes, d'un bon niveau scientifique et affranchis de toute barrière psychologique ou politique.

En ce qui concerne l'Égypte, comme elle est nouvelle dans le domaine de la collaboration avec le CERN, il n'y aura pas de problèmes de collaboration avec les pays européens ou méditerranéens.

La collaboration entre l'Égypte et le CERN apporte une solution au problème de fuite des cerveaux auquel l'Égypte est confronté. A travers les contacts faciles qui se sont établis entre l'Égypte et le CERN, le CERN fournit une solution aux problèmes scientifiques et technologiques côté égyptien, ce qui contrebalance le départ

continu d'Égypte de chercheurs qualifiés. La fuite des cerveaux explique également l'incapacité, jusqu'à présent, à former des groupes scientifiques complets en Égypte.

La coopération entre l'Égypte et les pays méditerranéens en physique des particules est malheureusement encore limitée à cause de facteurs psychologiques, politiques ou autres. La présence d'organisations internationales et nationales, comme le CERN, l'AFAS, le CNRS et l'IN2P3 qui organisent cette coopération et lui apportent leur soutien est essentielle.

Ma conviction profonde sur ce point m'a amené à écrire à l'université du Caire pour inviter la conférence «Méditerranée : le partage du savoir» à se tenir au Caire l'année prochaine.

Plaidoyer pour la physique expérimentale des particules en Algérie¹

Farès Djama

CPPM, CNRS/IN2P3-Université de la Méditerranée, Marseille

Introduction

L'objet de cet article est de développer un argumentaire pour initier une activité dans le domaine de la recherche en physique expérimentale des particules en Algérie. L'intérêt scientifique, technologique et stratégique de la physique des particules, ainsi que la perspective de collaborer avec le CERN sont abordés dans le premier chapitre. Le chapitre suivant analyse les raisons de l'absence des universités algériennes, identifie les éventuels futurs collaborateurs et fixe un objectif réaliste pour le moyen terme.

La physique des particules

Intérêt scientifique

La physique des particules étudie les constituants ultimes de la matière. Son but est de construire un modèle cohérent et unifié des particules et de leurs interactions. La connaissance de l'infiniment petit nous éclaire aussi sur les premiers instants de l'Univers, avant la formation des structures que nous connaissons aujourd'hui.

La physique des particules est l'archétype même de la science fondamentale. Ses concepts et ses outils font partie de la culture scientifique moderne, et la politique

de recherche d'un pays émergent ne peut rester en marge de ce domaine essentiel de la connaissance.

Intérêt technologique

Les expériences en physique des particules développent et utilisent des technologies extrêmement variées. Certaines nouvelles technologies ont vu le jour au sein de notre discipline, comme l'invention du Web au CERN, ou le développement de grilles de calcul massif.

Les techniques que nous utilisons sont très nombreuses : micro-électronique, optique, cryogénie, vide, supraconducteurs, mécanique de précision, informatique, traitement du signal, métallurgie, chimie, et bien d'autres encore. Nous entretenons une collaboration permanente avec l'industrie et nous possédons des compétences techniques de premier plan, ainsi que des équipements de pointe, dans nos laboratoires.

En plus de nos activités de recherche fondamentale, nous exploitons ces compétences en initiant des projets extérieurs à notre discipline, mais utilisant des techniques que nous avons développées. Les domaines les plus prometteurs et qui ont déjà donné des succès indéniables sont

¹ Texte original en français.

l'imagerie médicale, la proton-thérapie et le calcul scientifique.

De nouvelles équipes en physique des particules pourraient donc initier à leur tour des activités technologiques, et faire bénéficier leur entourage de retombées pratiques, comme l'accès aux grilles de calcul.

Aspect stratégique

La physique des particules développe, construit et utilise de grands équipements : accélérateurs, détecteurs, grandes installations. Ces équipements se concentrent sur un nombre restreint de sites de par le monde (CERN, Fermilab, DESY, SLAC, KEK, et quelques autres de moindre importance). Les collaborations sont par nature, internationales. La taille des équipements, la grande variété des techniques utilisées et le grand nombre de sujets de recherche possibles dans une expérience expliquent la grande taille des collaborations actuelles. A titre d'exemple, la collaboration ATLAS du CERN compte près de 2 000 scientifiques issus de 150 instituts situés dans 34 pays.

Un tel environnement favorise la formation d'élites ayant une vision plus large et plus précise des enjeux de la recherche, et la capacité de les défendre devant les décideurs. Au sein de ces grandes collaborations, les jeunes scientifiques sont confrontés très tôt à la gestion, à la prise de responsabilité et à une bénéfique émulation, à des échelles très diverses, selon l'expérience et les aptitudes de chacun.

Dans les pays industrialisés, les élites formées en physique des particules se retrouvent dans des domaines très divers, et parfois très éloignés de la recherche fondamentale et de l'enseignement. Le domaine de prédilection demeure l'informatique et le calcul, mais aussi l'instrumentation, l'électronique, la finance, l'automobile, l'aéronautique, le nucléaire civil, domaines où ils peuvent mettre en œuvre des techniques apprises ou développées dans notre discipline.

Tous les pays industrialisés, mais aussi les puissances émergentes (Chine, Inde, Brésil, Corée du Sud, Afrique du Sud) participent à la recherche en physique des particules. Bon nombre de pays sous-développés les ont rejoints ces dernières années (Maroc, Turquie, Pakistan, Iran, Egypte). L'absence de l'Algérie n'en est que plus visible.

Collaborer avec le CERN

Le CERN est le laboratoire de physique des particules le plus proche de la zone méditerranéenne, et certains de ses membres (tous les grands pays d'Europe occidentale) sont déjà les partenaires privilégiés des pays du Sud dans bien des domaines. La participation à des expériences au CERN paraît donc comme une étape naturelle pour l'Algérie, à l'image de l'expérience marocaine.

La collaboration scientifique concerne l'accès aux données collectées par les expériences, ainsi que leur analyse, et l'encadrement de stagiaires ou de doctorants lors de leurs séjours au CERN.

L'aspect technique dépend des possibilités technologiques de l'institut, et du moment où intervient cette collaboration dans l'histoire de l'expérience. Cela peut aller de la participation à un programme de recherche et développement pour construire un détecteur aux tests finaux d'une expérience avant son démarrage, en passant par la sous-traitance de la production et des tests de certains éléments de l'expérience durant sa construction.

Le CERN est aussi un lieu d'épanouissement pour les jeunes scientifiques. Son statut international, ses équipements et ses compétences créent une atmosphère très motivante, et permettent d'ouvrir de nouveaux horizons pour ceux qui y séjournent.

La physique des particules en Algérie

Pourquoi l'Algérie est absente

La transition historique qui s'est produite en Europe, de la physique nucléaire à la physique des particules, ne s'est pas produite en Algérie. Les équipes qui collaboraient essentiellement avec des laboratoires français (Ganil, Saturne, Strasbourg) n'ont pas franchi le pas. Cette transition aurait dû s'effectuer au début des années quatre-vingt-dix, date qui marque le début de la décennie noire, ce qui n'a pas facilité les choses. L'une des conséquences des événements tragiques que vivait l'Algérie est la raréfaction des visas délivrés aux scientifiques. Nos collègues d'Algérie ont vécu cela comme une punition supplémentaire.

L'autre grande raison de cette non-transition est l'absence d'anticipation et de stratégie de la part des acteurs de la recherche en Algérie.

Il nous semble aujourd'hui qu'à la faveur d'une double éclaircie (sécuritaire et économique), la volonté politique européenne de coopération, et celle, algérienne, de structurer la recherche, se rejoignent pour un nouveau départ.

Cette nouvelle donne ne doit pas nous faire oublier les autres problèmes. L'un des plus alarmants est la désaffection des filières scientifiques par les meilleurs étudiants. Une revalorisation des métiers de la recherche et de l'enseignement est l'un des leviers qui pourrait contribuer à attirer de nouveau les meilleurs éléments.

Avec qui collaborer en Algérie ?

Les scientifiques les plus susceptibles de s'intéresser à la physique des particules expérimentale sont ceux des disciplines voisines que sont la physique nucléaire et la physique théorique. On peut dire qu'il y a deux sortes d'universités candidates potentielles pour commencer une activité en physique des particules :

1. Les grandes universités ayant une tradition en physique nucléaire et une activité visible en physique théorique (Alger, Oran, Constantine). L'inertie de ces grandes structures pourrait constituer un inconvénient pour un démarrage rapide.

2. Les petites ou nouvelles universités ayant une activité récente en physique théorique et en péri-nucléaire (Sétif, Béjaïa, Jijel...)². Leur petite taille les rend plus souples et la présence de jeunes seniors faciliterait leur intégration dans une discipline, certes voisine, mais tout de même différente. Dans un premier temps, les inconvénients principaux seront un certain manque d'expérience des collaborations internationales et l'isolement géographique.

Objectif à moyen terme

Un scénario réaliste de collaboration avec une université algérienne peut avoir comme objectif la participation d'une équipe à l'analyse des données qui seront collectées auprès du futur grand accélérateur du CERN, le LHC, à partir de 2007. Les doctorants algériens seraient le fer de lance d'un tel scénario.

La formation des étudiants algériens en physique théorique et nucléaire leur permettra de s'insérer facilement en physique des particules. La plupart de ces cursus comportent des cours de théorie des champs et d'interaction rayonnement-matière. Il conviendra de compléter cette formation par des cours spécifiques, dispensés sur place, ou par une participation à des écoles internationales.

Ces doctorants seraient intégrés dans des équipes françaises, en co-tutelle, et séjourneraient régulièrement en France et au CERN.

Un scénario d'équipement informatique minimal existe, et peut facilement être mis en œuvre pour permettre à ces doctorants d'accéder aux données et de les analyser à partir de leur campus, comme le font tous les autres instituts qui participent à des expériences de physique des particules.

Ce sont ces premiers doctorants qui pourraient ensuite pérenniser l'activité en physique des particules en Algérie, en ouvrant des cursus spécifiques et en encadrant à leur tour d'autres doctorants. L'expérience marocaine (voir la contribution de D. Benchekroun) est particulièrement éloquente, et démontre la faisabilité d'un tel projet.

Tentative avec l'université de Sétif

Les premiers contacts avec des étudiants de l'université de Sétif ont été noués lors de l'école algéro-française de physique-chimie qui s'est tenue à Jijel en décembre 2004. Un projet de coopération entre l'équipe du Centre de physique des particules de Marseille participant à l'expérience ATLAS auprès du LHC et le laboratoire de physique nucléaire de Sétif est en gestation. Un dossier pour bénéficier du programme de coopération TASSILI, de l'association EGIDE qui gère les moyens de coopération de l'Etat en France, a été déposé.

Conclusion

Le renouveau de la recherche en Algérie ne peut ignorer un domaine aussi important que la physique des particules. Sur la rive Nord de la Méditerranée, il y a une volonté politique inédite de coopérer avec l'Algérie et il serait dommage de rater une telle opportunité. La physique des particules est un domaine structurant et qui ouvre de nouveaux horizons scientifiques, mais aussi technologiques.

Une telle ouverture facilitera et profitera à d'autres projets, comme le rattachement des pays du Sud au réseau optique à haut débit et aux grilles de calcul.

Remerciements

Mes remerciements les plus vifs vont à l'AFAS et plus particulièrement à R. Klapisch pour son invitation, à J. Ellis pour ses encouragements, et aux organisateurs pour leur accueil et leur disponibilité. Une pensée amicale pour mes collègues d'ATLAS du Maroc, qui ont grandement contribué au succès de cette conférence.

² Universités avec lesquelles nous entretenons des contacts. La liste est donc incomplète.

Autre contribution

Activités du groupe iranien de physique des hautes énergies au CERN

Participation de l'Iran à l'expérience CMS

Majid Hashemi, IPM, Téhéran

Présentation : 14 diapositives en anglais

Session 8

Dessalement de l'eau de mer et recyclage des eaux usées

Responsables de la session :

Miriam Balaban

Secrétaire de l'European Desalination Society, L'Aquila

Azzeddine Elmidaoui

Université de Kénitra

Synergies entre production d'électricité et dessalement : avantages économiques et sociaux¹

Corrado Sommariva

Président de l'European Desalination Society
Divisional Director Mott Mac Donald, Royaume-Uni

Principe

Les usines de dessalement peuvent être soit autonomes soit couplées avec des centrales électriques de moyenne à grande capacité.

C'est un concept répandu que la remise à niveau du dessalement thermique à l'aval d'une centrale à cycle combiné (CCGT) ou d'une centrale électrique traditionnelle est un trait spécifique aux pays du Moyen-Orient, où les ressources pétrolières sont abondantes et où, par voie de conséquence, le coût de l'énergie est faible.

Au contraire, des synergies peuvent souvent être trouvées pour optimiser l'utilisation de la chaleur perdue des centrales électriques, ou d'autres ressources, dans les usines de dessalement,

L'utilisation de cette chaleur serait bénéfique au cycle énergétique comme à l'environnement, et constituerait une source d'énergie bon marché pour conduire le dessalement thermique.

Le présent article décrit quelques options technologiques types de couplage production d'électricité/dessalement.

Cycles traditionnels

Le dessalement est un procédé grand consommateur d'énergie. Les coûts en électricité/combustible du dessalement thermique peuvent être optimisés si le système est intégré dans le cycle de production d'une centrale électrique.

Les procédés d'évaporation présentent une synergie naturelle avec la production d'électricité parce qu'ils utilisent tous deux un processus vapeur similaire (vapeur basse pression condensée, etc.)

Le procédé de dessalement est capable d'utiliser, pour la distillation de l'eau de mer, la chaleur basse énergie prise à la sortie des turbines à vapeur.

Comme les technologies MSF et MED opèrent à relativement basses températures, leur intégration à un cycle énergétique est assez pratique.

¹ Traduction du texte original en anglais.

En fait l'usine de dessalement est un simple substitut de condensateur de turbine à vapeur de circuit électrique conventionnel.

L'organigramme de la figure 1 montre un dessalement thermique autonome type et des systèmes de production électrique autonomes types, sans intégration.

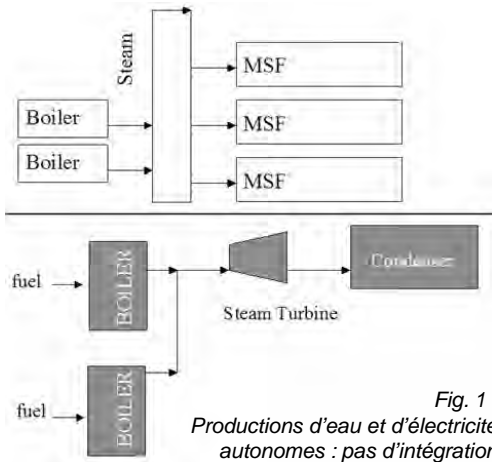


Fig. 1 : Productions d'eau et d'électricité autonomes : pas d'intégration

Une configuration optimisée ressemblerait à l'organigramme de la figure 2, qui est à tous égards compatible avec la cogénération, qui prendrait dans ce cas la forme d'une production combinée d'électricité et d'eau.

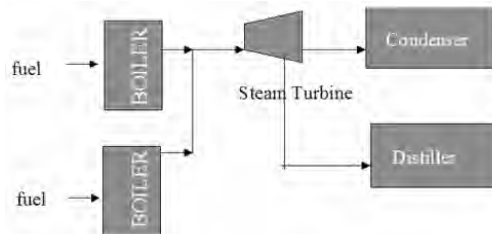


Fig. 2 : Production combinée d'électricité et d'eau

La figure 3 fournit un exemple des avantages qui peuvent être obtenus en combinant les productions d'électricité et d'eau.

Le cas particulier de la figure 3 montre la chaleur nécessaire pour faire fonctionner trois configurations possibles de processus. La première est une turbine à vapeur simple de 200 MW, la seconde concerne un dessalement MSF de 80 MGD, et la troisième est une combinaison des deux technologies.

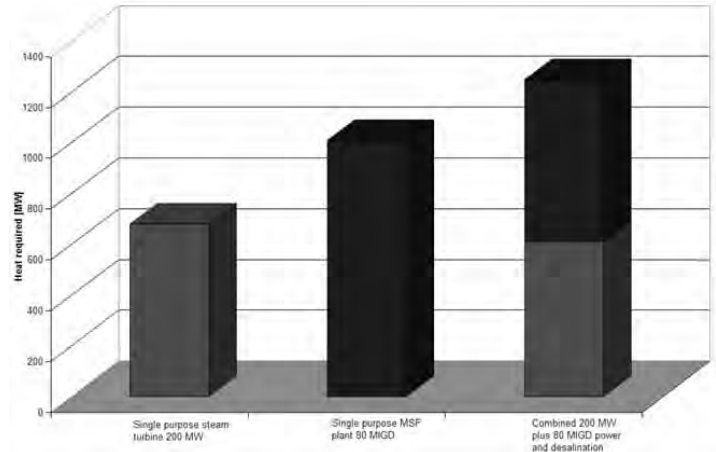


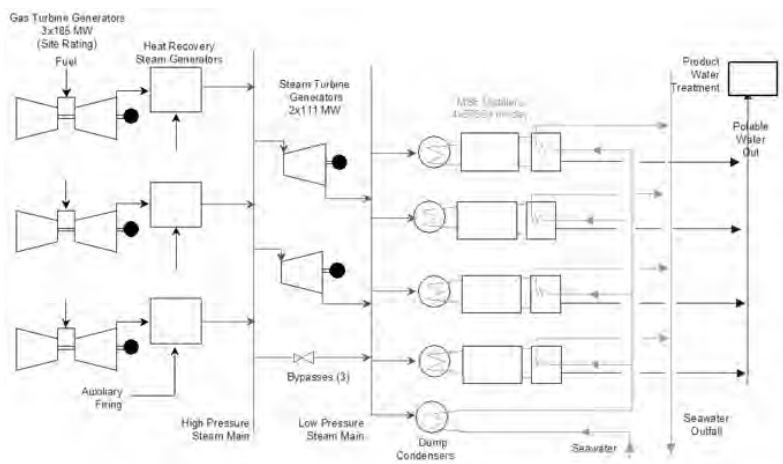
Fig. 3 : Puissance thermique type avec production simple ou combinée d'électricité et d'eau

Comme on peut le voir dans la figure 3, la chaleur nécessaire à la technologie combinée est bien moindre que la somme des chaleurs nécessaires aux procédés autonomes.

Le concept du procédé indiqué dans la figure 2 est celui d'une nouvelle turbine à gaz à cycle combiné, couplée avec le dessalement thermique indiqué dans la figure 4.

Pour tirer le maximum de l'utilisation de la vapeur, il est essentiel de créer des conditions optimales d'extraction pour l'usine de dessalement thermique et de s'assurer que chaque unité de masse de vapeur est utilisée au maximum des possibilités afin de fournir le maximum d'électricité.

Fig. 4 : Installation industrielle type électrique et de dessalement



La figure 5 montre, dans un diagramme HS type, les lignes du cycle de la vapeur dans un cycle traditionnel, depuis l'admission de la turbine jusqu'à l'extraction de la vapeur (distillateur et condenseur).

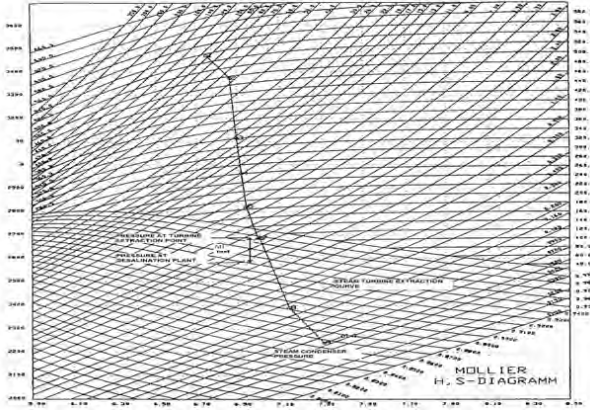


Fig. 5 : Lignes d'expansion de turbine à vapeur : vapeur traditionnelle à 193 bars et MSF

Une usine de dessalement thermique conventionnelle de technologie MSF ou MED nécessiterait de la vapeur aux température et pression suivantes.

Tableau 1

Process	Steam Temperature	Steam Pressure
MSF	130 °C	2.5 – 2.3 bar abs
MED	80 °C	1.8 to 0.4

L'utilisation de chaleur de faible niveau est maximisée par l'adoption de la technologie MED qui utilise de la vapeur très basse pression (jusqu'à 0,3 bar abs.) ou même de l'eau chaude.

Perspectives pour le futur

La température différentielle de l'eau de mer entre usines de dessalement MSF et MED est généralement assez élevé (11 °C), ce qui crée depuis peu des contraintes environnementales sévères.

Jusqu'à présent, la consommation d'eau de mer ne constituait pas un point à améliorer puisqu'il n'y avait pas de restrictions au dessalement de l'eau de mer dans les premières usines de dessalement.

La consommation d'eau de mer, pour la technologie MSF comme pour la technologie MED, est de 7,5 à 9 m³ par m³ de distillat produit.

Cependant, prenant en compte que la température d'alimentation minimale pour les usines de dessalement thermique est de l'ordre de 22-24 °C, on a conduit quelques essais de combinaison avec de l'eau de refroidissement, en alimentant l'usine MSF avec de l'eau de mer raccordée en aval du condenseur de la centrale électrique, comme indiqué dans la figure 6 ci-dessous.

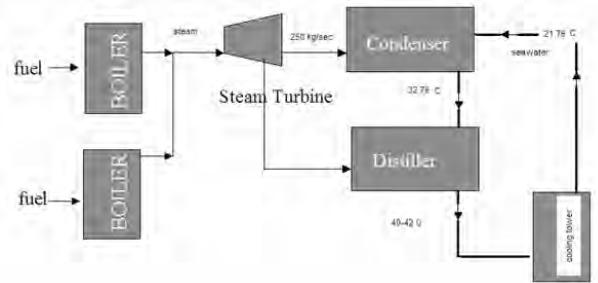


Fig. 6

Dans quelques cas, on a réadapté la centrale thermique pour le dessalement en centrale produisant aussi l'électricité, et la colonne de refroidissement a été redessinée puisque la température de l'eau de mer serait de 9 à 11 °C plus élevée.

Pour les petites productions d'eau distillée (200 à 1 000 m³/h), des usines MSF peuvent être installées en jouant sur la différence de température entre l'eau qui refroidit avant et après le condenseur, conformément au schéma ci-dessous (figure 7).

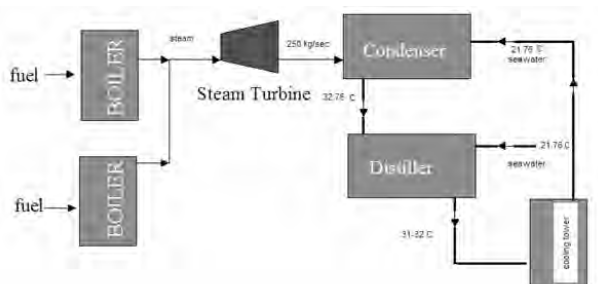


Fig. 7

En fait, dans cette configuration, l'eau de mer chaude à la sortie du condenseur serait utilisée comme source de chaleur pour la MSF, qui ne nécessiterait aucune extraction de vapeur. Ce mode de fonctionnement a tendance à être onéreux du point de vue de l'investissement en capital en raison de la force motrice thermique basse (seulement 11 °C) et du nombre relativement faible d'étages compatibles avec cette différence de température. D'un côté le système aurait l'avantage de ne pas utiliser de vapeur provenant de la centrale (rendement ∞) et par conséquent, le coût d'exploitation serait bas.

D'un autre côté, les impératifs de construction pour une usine MSF opérant dans un domaine de 40 °C seraient considérablement simplifiés en ce qui concerne les matériaux de construction, et la large utilisation du GRP pourrait réduire considérablement les coûts d'installation dans les futures usines.

Conclusions

Ce rapport a apporté une vue d'ensemble des options technologiques de couplage production d'électricité/dessalement et des recommandations pour de nouvelles améliorations.

Dessalement et réutilisation des eaux usées : des ressources à prendre en considération¹

Azzeddine Elmidaoui
Université de Kénitra

Introduction

La demande en eau dans le monde est d'environ 500 m³ par personne et par an, dans les deux tiers des pays. 80 % des maladies et 50 % de la mortalité infantile sont étroitement liés à l'eau. L'eau est responsable de 6 à 20 millions de décès dans le monde. La consommation d'eau a considérablement augmenté au siècle dernier, atteignant et dépassant les limites des ressources en eau renouvelables dans certaines régions comme l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient. Cette tendance se poursuit.

La majeure partie de la région du sud de la Méditerranée se caractérise par des conditions arides et semi-arides. La région méditerranéenne constitue la frontière entre l'abondance et la pénurie en eau. En 2025, le sud de la Méditerranée sera en situation de pénurie d'eau. Le tableau 1 donne le pourcentage de population alimentée en eau potable dans quelques pays du sud de la Méditerranée.

Tableau 1 : Population alimentée en eau potable en %

Pays	Egypte	Maroc	Libye	Mauritanie	Tunisie
%	64	75	90	64	100
Consommation l/jour/pers.	130	131	270	110	82

Le Maroc se caractérise par un climat semi-aride. La pluviosité est très variable d'une région à l'autre. Elle est inférieure à 300 mm par an dans le Sud et peut dépasser les 700 mm par an dans le Nord.

En dépit des efforts accomplis depuis longtemps dans la construction de barrages (le Maroc compte aujourd'hui quelque 103 barrages pour environ 16 milliards de m³), la disponibilité en eau diminue avec les années. Elle

était de 3 500 m³ par personne et par an en 1960, et elle est de 900 m³ par personne et par an en 2004. En 2020 elle ne sera que d'environ 500 m³ par personne et par an, ce qui correspond à une situation de pénurie. Cela est lié principalement aux changements climatiques et aux périodes de sécheresse qui se sont installées depuis plusieurs années et qui ont conduit à une réduction de la pluviosité de plus de 5 % et, par voie de conséquence, à une réduction de la disponibilité en eau d'environ 20 %. L'explosion démographique, ces trois dernières décennies, l'urbanisation croissante due à l'exode rural causé par les longues périodes de sécheresse et la négligence des pays pendant longtemps, ont fortement contribué à la surexploitation de l'eau et à la détérioration de sa qualité. Le Maroc, qui comptait plus de 80 % de population rurale juste après l'indépendance, n'en compte plus aujourd'hui que 45 %. L'irrigation intensive et l'envasement des barrages (l'envasement cause une perte équivalente à un barrage par an) sont également des

¹ Traduction du texte original en anglais.

facteurs importants dans la réduction des ressources en eau et leur pollution.

La politique de planification soignée et de gestion vigilante adoptée par le Maroc depuis 1980 a donné des résultats satisfaisants pendant quelques années mais elle a atteint ses limites depuis 2000. L'obligation d'avoir recours à d'autres ressources non conventionnelles en eau comme le dessalement ou la réutilisation des eaux usées, et la nécessité d'une politique plus rigoureuse de planification et de gestion de l'eau sont devenues indispensables.

Actuellement au Maroc, les grands défis en ce qui concerne la gestion des risques liés à l'eau sont multiples :

- politiques et réglementation,
- approvisionnement en eau potable,
- mobilisation des ressources non conventionnelles,
- eaux d'égout et pollution,
- financement.

Pour ce qui est de l'approvisionnement en eau potable, le Maroc a fait de grands progrès, particulièrement ces dernières décennies. Aujourd'hui, le taux de raccordement aux réseaux d'eau potable dépasse 75 %, avec plus de 60 % en zone rurale et plus de 90 % en zone urbaine. Un déséquilibre national subsiste toutefois dans les taux de raccordement. S'il atteint 100 % dans certaines villes ou zones, il reste inférieur à la moyenne dans d'autres. Certains quartiers périphériques des grandes agglomérations ne sont pas raccordés ou continuent d'être alimentés par des fontaines terminales communes. Les zones rurales demandent plus d'efforts pour être raccordées convenablement et définitivement. Si la qualité de l'eau distribuée est correcte, les réseaux de distribution ne sont pas renouvelés, ce qui implique des pertes considérables d'eau potable et des risques de contamination par les réseaux d'égout.

Dans le domaine des ressources non conventionnelles, le grand progrès au Maroc réside dans l'utilisation du dessalement en dépit de son coût relativement élevé au mètre cube. Des efforts considérables ont été produits dans le Sud avec la construction de plusieurs usines de dessalement, en particulier par l'ONEP et l'Office chérifien des phosphates (OCP). La capacité de production nationale par dessalement dépasse aujourd'hui les 30 000 m³/jour et va augmenter rapidement. L'ONEP lance sans arrêt des appels d'offres pour l'extension d'installations existantes et pour la construction de nouvelles installations dans le sud du pays. La plus grande installation, de plus de 80 000 m³/jour, est prévue par l'ONEP dans la ville d'Agadir pour 2020 (probablement plus tôt). Au début de 2006, l'ONEP démarrera une nouvelle installation à Layoune dans le sud du Maroc, et a déjà lancé un appel d'offres pour une installation de quelque 60 000 m³/jour dans le nord du Maroc à Jorf Alasfar.

Toutefois la réutilisation des eaux usées reste le point faible en tant que ressource non conventionnelle.

Soit ces ressources sont insuffisamment mobilisées, soit elles sont mobilisées de façon anarchique sans traite-

ment rigoureux et adapté, ce qui constitue un grand danger pour les ressources conventionnelles et la santé publique.

Les égouts demeurent le maillon faible de la politique de gestion des risques liés à l'eau au Maroc. Le total des eaux usées et effluents rejetés dans l'environnement naturel avoisine les 650 millions de m³ par an. Les usines de traitement des eaux usées sont au nombre de 64. Quinze installations seulement sont opérationnelles et traitent 6 % du volume total des rejets, dans des conditions qui ne sont pas optimales. Le taux de raccordement en environnement urbain dépasse les 70 % mais il est très faible en milieu rural. Les réseaux d'égout existants sont parfois insuffisants et défectueux. Le drainage des eaux de pluie est un autre problème très sérieux.

La pollution agricole, notamment par les nitrates et les pesticides, constitue un danger permanent, essentiellement pour les eaux souterraines. La teneur en nitrates dépasse largement la normale dans plusieurs régions au Maroc. La dilution n'est pas, ou ne sera pas, une solution adaptée du fait de la diminution des ressources en eau.

D'autres types de pollution, comme la pollution aux fluorures, rendent plusieurs régions au Maroc vulnérables, notamment dans les zones phosphatées. Dans ce cas également, la dilution n'est plus adaptée et le traitement devient de plus en plus nécessaire.

Ces contraintes et ces défis sont pratiquement les mêmes dans le Sud méditerranéen. Pour relever ces défis, les pays ont pris plusieurs initiatives pour améliorer la gestion de l'eau. Ils se sont efforcés de mieux mobiliser les ressources en eau, de mieux planifier, d'améliorer la gestion, d'améliorer le taux d'approvisionnement en eau et les réseaux d'égout, de sensibiliser la population.

La mobilisation des ressources non conventionnelles, notamment le dessalement et la réutilisation des eaux usées, fait partie des solutions prometteuses.

La capacité mondiale de production d'eau par dessalement est aujourd'hui d'à peu près 33 millions de m³, et suffit pour approvisionner environ 330 millions de personnes en eau potable avec une utilisation de 100 l par personne et par jour. Les principales technologies utilisées sont l'osmose inverse et la distillation. L'eau produite est utilisée pour la boisson, pour des usages industriels et pour l'irrigation dans certains cas. Le coût du dessalement ne cesse de diminuer, atteignant dans certains cas 0,5 US\$ par m³ avec l'osmose inverse. Toutefois, comme la Banque mondiale l'a notifié, le dessalement seul ne peut tenir la promesse d'un meilleur approvisionnement en eau. Cela doit rester le dernier recours et ne devrait être appliqué qu'après avoir examiné attentivement des alternatives moins coûteuses en termes de gestion de l'approvisionnement et de la demande.

Les eaux usées jouent un rôle de plus en plus important dans la gestion des ressources en eau comme produit de substitution pour divers usages. La réutilisation de l'eau augmente plus que le dessalement : 25 % par an au Japon et aux Etats-Unis, 28 % en Europe, 40 % en Australie et à Singapour, et 60 % en Chine.

Le rejet d'eaux usées dans les pays arabes est estimé à environ 14 milliards de m³/an, avec à peu près 8 milliards de m³/an d'eaux usées municipales et 6 d'eaux usées industrielles. Seulement 50 % des eaux usées municipales sont traitées. Dans les pays arabes, la réutilisation de l'eau ne fournit qu'environ 5 % des ressources non conventionnelles.

Dans les pays du sud de la Méditerranée, la réutilisation de l'eau a un fort potentiel et devrait contribuer à la gestion durable des ressources en eau. Du fait de l'indus-

trialisation limitée, les contaminants tels que les métaux lourds et les produits chimiques synthétiques se trouvent en très faible concentration dans les eaux domestiques usées dans le Sud.

Les raisons de l'augmentation de la réutilisation de l'eau dans le Sud sont : la protection de l'environnement, la rareté des ressources conventionnelles en eau, et le coût décroissant au regard des autres ressources alternatives en eau. Au Maroc, l'investissement pour les égouts sera d'environ 4 milliards d'US\$ pour la période 2003-2007.

Gestion et surveillance distribuée de ressources d'eau¹

Elpida Tzafestas

Institut de systèmes de communication et d'information, Athènes

Gerasimos Rigatos

Institut de systèmes industriels, Patras

Constantinos Garagunis

Ecole des mines et de métallurgie, université technique nationale d'Athènes

Les complexes urbains étendus à leur banlieue souffrent en général d'une insuffisance galopante d'eau souterraine disponible pour plusieurs raisons ; au premier plan de celles-ci : croissance de la population, des activités rurales et industrielles. De plus, la qualité des eaux se détériore à cause de la pollution environnementale et d'une gestion problématique. Pour un pays comme la Grèce, qui vit du tourisme et souffre d'une inégale répartition saisonnière des pluies, la gestion de l'eau destinée à la consommation humaine est difficile. Plus difficile que pour d'autres pays péri-méditerranéens qui se sont exprimés au cours de ce colloque, en raison d'un domaine continental réduit et de la pulvérisation d'un millier d'îles dispersées dans la mer Egée.

Nous proposons une approche intégrée, distribuée et informatisée pour gérer et surveiller les eaux souterraines dans le contexte évoqué ci-dessus. Notre vision repose sur la prise en considération des sujets suivants :

- *Gestion et surveillance des ressources naturelles*
Celles-ci deviennent de plus en plus incapables de répondre aux demandes actuelles et futures. Une planification à plus long terme s'impose, soutenant une politique de remplacement, d'exploitation et d'intégration des ressources naturelles modestes. Notre expérience est irremplaçable ; elle repose sur le quotidien en vraie grandeur d'où sont exclues les spéculations élaborées des bureaux d'études.

- *Problèmes fonctionnels du point de vue de la production et de la consommation*

Il faut être aveugle pour ne pas prendre en compte, dans le Bassin méditerranéen tout entier, l'absence de perception de la notion d'entretien, aggravée par celle de la fraude : compteurs truqués, branchements pirates engendrant des fuites non maîtrisées qui sont autant des causes de pollution indirecte. Contre tous ces méfaits, nous avons une solution reposant sur la pratique quotidienne du délit constaté. Le plan d'exploitation des ressources doit être révisé pour devenir plus opérationnel dans le cadre de l'approvisionnement direct des villes (agences de l'eau) et indirect par distribution des produits embouteillés. La régulation de la demande comme de l'offre se traduit en termes complexes de gestion de flux, transport et gestion en réseau.

- *Qualité des eaux*

Ce critère est tout aussi vital que le volume disponible ; il est menacé par la globalisation de la pollution environnementale. Toute gestion de flux doit s'inscrire dans les dynamiques environnementales actuelles et dans les prédictions qui les concernent. C'est là la clef des solutions viables et économiques qui ouvre l'avenir du pays.

¹ Texte original en français.

Autres contributions

La croissance des publications sur le dessalement et de la communauté

Miriam Balaban, secrétaire de l'European Desalination Society, L'Aquila

Présentation : 25 diapositives en anglais

Programme de dessalement en Algérie : enjeux et perspectives

Mourad Amara, faculté de chimie, USTHB, ALGER

Présentation : 51 diapositives en français

Etat de l'activité de dessalement en Tunisie

Bechir Hamrouni, faculté des sciences de l'université El Manar de Tunis,

Présentation : 17 diapositives en français

Le traitement spécifique pour la production d'eau potable à l'ONEP : opportunités et contraintes

Mahmoud Hafsi, ONEP, Maroc

Présentation : 29 diapositives en français

Gestion de l'eau et dessalement éolien au Maroc

Khalid Tahri, ONEP, Maroc

Présentation : 35 diapositives en anglais

Session 9

Les risques naturels en Méditerranée

Responsable de la session :

Yves Lancelot

Directeur de recherche au CNRS, Marseille

Le risque sismique dans les régions méditerranéennes¹

Paul Tapponnier

Institut de physique du globe, Paris

Je vais commencer avec la première partie d'une des questions suggérées par Yves Lancelot : que comprenons-nous à l'heure actuelle de la sismicité de la Méditerranée ? que savons-nous de cette sismicité ? qu'aimerions-nous savoir ? que faire pour en savoir plus ?

La Méditerranée n'est pas la région la plus sismique du globe. C'est une région sismique, mais qui fait pâle figure face à des zones comme le Japon, la Californie, l'Alaska, le Chili ou même la Chine. C'est une région extrêmement compliquée parce que, comme vous le voyez sur la carte de la figure 1, il y a des séismes avec des mécanismes très différents, qui affectent une région dans laquelle on a une mosaïque de petits bassins océaniques séparés par des microblocs et des péninsules continentales, et il est plus difficile de savoir ce qui se passe dans des régions de ce type.

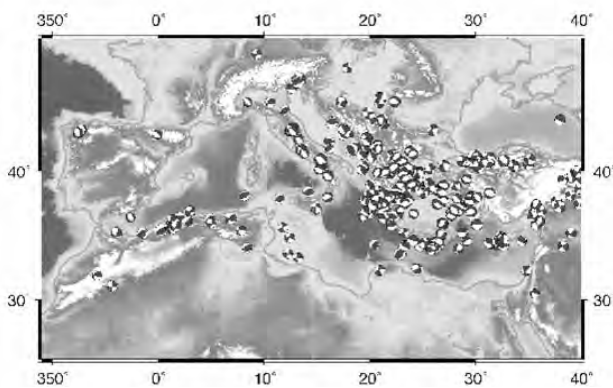


Fig. 1

Sur le plan général, nous savons tous que la sismicité méditerranéenne, les déformations méditerranéennes, sont le résultat de la convergence entre la plaque africaine,

la plaque arabe et la plaque eurasienne. Il y a plus d'action en Méditerranée orientale qu'en Méditerranée occidentale à cause d'une répercussion de la collision Arabie-Eurasie qui chasse l'Anatolie vers l'ouest et l'on voit tout de suite que les vitesses de déplacement (vecteurs) sont très supérieures dans la partie orientale de la Méditerranée par rapport à ce qu'elles sont dans la partie occidentale (figure 2). En Méditerranée orientale, les vitesses sont comprises entre 1 et 3 cm par an. Pour fixer les idées, dans un référentiel européen et en Méditerranée occidentale, on est au-dessous du centimètre par an et même, dans beaucoup d'endroits, au-dessous de 5 mm par an en ce qui concerne les conditions limites ; c'est la convergence des grandes plaques.

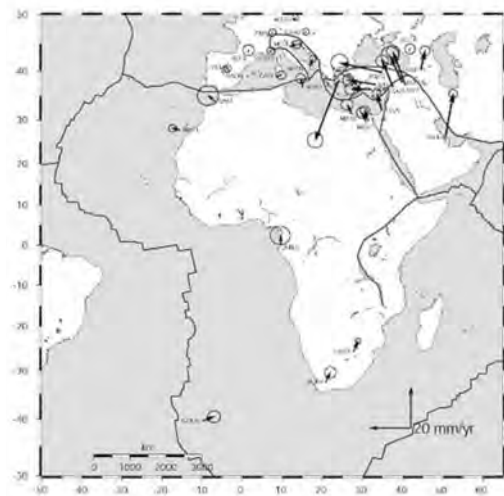


Fig. 2

¹ Transcription de l'exposé en français.

Ces vitesses continuent à être mesurées avec beaucoup plus de précision. Voici par exemple le travail que fait Jean-Mathieu Nocquet à Nice, avec des GPS continus (figure 3, planche III). Vous voyez qu'on retrouve un peu ce même dispositif : des flèches jaunes qui sont très grandes dans toute la partie est et plus petites dans la partie ouest, avec des directions très variables. Les difficultés qu'on rencontre à l'heure actuelle sont liées au fait que l'Europe n'est même pas rigide et qu'une bonne partie de l'Europe septentrionale, où l'on aimerait pouvoir poser des stations de référence, subit les conséquences du rebond post-glaciaire. Il reste donc là des incertitudes, qui sont typiquement de l'ordre du millimètre.

Dans le passé, la Méditerranée a été le site de catastrophes extrêmes, dont nous n'avons pas eu d'équivalent dans la période instrumentale. Depuis que le sismomètre a été inventé (1892), il n'y a pas eu de séisme de magnitude 8 en Méditerranée. Nous savons qu'il y en a sans doute eu dans le passé, en particulier dans l'arc Egéen, en Crète ou à Rhodes, quoique ces magnitudes ne soient que des estimations et qu'on ne connaisse toujours pas exactement la taille de ces séismes.

Une partie des séismes mentionnés sur la carte schématique de la figure 4 (planche III) se sont accompagnés de tsunamis. Les failles sont en partie sous-marines et tous les littoraux de la Méditerranée sont susceptibles d'être dévastés par des tsunamis. De nouveau, les risques sont très différents dans l'ouest et dans l'est de la Méditerranée. Par exemple, le séisme qui s'est produit dans la région d'Alger au mois de mai 2003 a engendré un tsunami modeste, qui a quand même frappé les Baléares avec une vague de 2 m de haut dans le port de Palma de Majorque, très bien enregistrée par les marégraphes. Un des problèmes est que, comme le

Bassin méditerranéen est étroit, les tsunamis frappent très vite les côtes d'en face, et il nous faut vraiment réfléchir à des solutions extrêmement rapides.

Le plus grand tsunami de l'histoire méditerranéenne est sans doute celui qui a accompagné le tremblement de terre crétois de 365 (figure 5, planche III), et la dévastation a été gigantesque. On lit dans les textes de l'époque des descriptions qui rappellent à s'y méprendre celles de Sumatra. Le séisme a frappé le monde de l'époque qui était le Bassin hellénique, avec des dévastations extrêmes à Alexandrie et en Sicile. Ce séisme ne s'est pas reproduit depuis et voilà un grand point d'interrogation.

Nous savons autre chose sur les séismes méditerranéens. Il y a deux ou trois exemples de séquences sismiques qui se déclenchent en série, c'est-à-dire que certains séismes en déclenchent d'autres.

Je commence par un premier exemple désormais bien connu, celui des séismes calabrais de 1783, où, en l'espace de trois jours, entre le 5 et le 7 février, trois séismes ont affecté la Calabre méridionale au pied de l'Aspromonte, avec, un petit mois plus tard et encore quelques semaines plus tard, deux autres séismes. Il est clair que ces séismes se déclenchent les uns les autres. Nous ne savons pas exactement ce qui régit le temps qui sépare le premier séisme du deuxième, du troisième, du quatrième, du cinquième - c'est une des grandes questions qui restent posées -, mais on comprend comment les concentrations de contraintes engendrées par la rupture sur une faille déclenchent la rupture sur les autres failles. Vous voyez (figure 6, planche III) en blanc les failles qui se sont brisées pendant le premier séisme en (a). En (b), vous voyez les concentrations de contraintes sur les failles adjacentes, qui se brisent successivement le 6 puis le 7 février - elles deviennent blanches. Vous notez qu'à la suite de cette séquence de 1783, il y a un énorme lobe de concentration de contraintes de Coulomb rouge au sud dans le détroit de Messine. Bien sûr, ce lobe de concentration de contraintes est sans doute responsable du séisme qui s'est produit à Messine en 1908, et qui a rendu pratiquement connexes toutes les ruptures le long de ce que j'appelle le rift siculo-calabrais entre Catane et Catanzaro, puisqu'il y avait eu, en 1693, un autre séisme qui avait fait 40 000 victimes à Catane.

Une fois de plus, des séquences de ce type permettent d'identifier des régions qui sont plus dangereuses que d'autres pour le futur. L'exemple le mieux connu est celui de la faille nord-anatolienne. Un autre exemple est celui de la séquence du XX^e siècle (figure 7) qui a brisé toute la faille nord-anatolienne d'est en ouest et qui met en évidence un déficit de glissement, une lacune sismique, aujourd'hui, en mer de Marmara. Elle fait suite à une autre séquence, au XVII^e siècle, qui avait aussi brisé toute la faille.

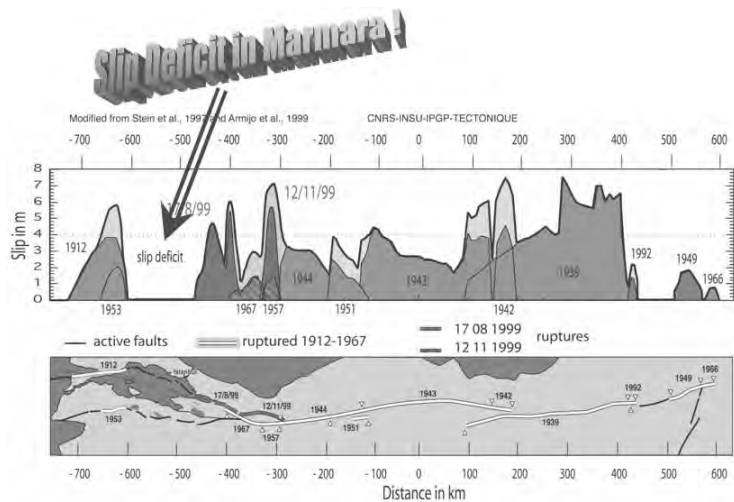


Fig. 7 : Séquence sismique du XX^e siècle

Comment, maintenant, peut-on aller plus loin, comment peut-on préciser et affiner ces scénarios ? Vous allez voir qu'il y a des choses très importantes et très simples à faire qui ne sont en général pas faites. Il faut savoir exactement où sont les failles, et il faut comprendre quels sont les segments de faille qui se brisent dans tel ou tel séisme. Puis nous espérons, petit à petit, mieux comprendre le temps de retour de ces séismes qui se produisent pseudo-périodiquement sur beaucoup de failles.

Je commence par la mer de Marmara (figure 8, planche IV). Les deux séismes d'Izmit en 1999 ont brisé en tout 180 km de faille nord-anatolienne. Avant ces séismes, on ne savait pas localement, près d'Izmit, où passait la faille. Voici la photo très célèbre (figure 9) d'un complexe de bâtiments entièrement neufs, inoccupés à l'époque du séisme, et vous voyez que la faille traverse le complexe de bâtiments, traverse même un bâtiment en décalant de 4 m ses murs d'enceinte. Aucun promoteur immobilier n'aurait jamais construit un ensemble pareil si l'on avait su où passait la faille, mais on ne le savait pas. C'est le cas en beaucoup d'endroits dans le monde : on ne sait pas exactement, au mètre près, où passent les failles actives, y compris les mieux connues - par exemple, on ne sait pas exactement où passe la faille de San Andreas. Il reste donc des endroits très critiques.



Fig. 9

Le séisme d'Izmit en 1999 a brisé la branche orientale de la faille anatolienne qui arrive à l'est de la mer de Marmara. En 1912, un autre séisme s'était produit à l'extrémité ouest de cette mer. Il reste donc une lacune entre les deux. Le travail de cartographie de détail effectué par Rolando Armijo et ses collègues turcs et français a permis d'avancer considérablement. On a maintenant la géométrie des failles actives, qui est un peu compliquée, avec une très bonne résolution. On est capable d'aller regarder le fond marin et d'identifier les escarpements du dernier tremblement de terre, dont la hauteur fait 1 à 2 m de haut (figure 10, planche IV). On arrive à voir ces escarpements grâce à des techniques de robots téléguidés sur le fond marin, et l'on voit même la direction du glis-

sement. Ce qui est important, c'est que nous disposons maintenant d'une cartographie très précise d'un escarpement très frais qui peut être relié au tremblement de terre de 1912 (figure 11, planche IV). Par conséquent, la lacune sismique qui existe en mer de Marmara est réduite dans sa taille et, au lieu d'imaginer la potentialité ou l'idée d'un tremblement de terre de magnitude 7,5 ou plus qui briserait tout ce qui s'est brisé au XVII^e siècle, il ne reste, semble-t-il, que 70 km de long à briser, c'est-à-dire un tremblement de terre beaucoup plus petit. Si l'on imagine qu'en plus, ce sont les ruptures du dernier séisme de 1999 qui vont déclencher, guider la nucléation du prochain séisme, la propagation se fera en grande partie sur la faille linéaire vers l'ouest, donc loin d'Istanbul, et, en fait, les effets seront peut-être moins dévastateurs.

Voici un autre exemple de ce qu'on peut faire, dans une autre région de la Méditerranée orientale, au Liban. La région a connu plusieurs grands séismes dans le passé : en 1202, un tremblement de terre bien connu s'est produit au début de la deuxième croisade, et a dévasté tous les châteaux des Croisés. Il y en a eu d'autres : 1157, 1170. En 551, il y a un petit peu moins de 1 500 ans, un séisme et un raz-de-marée ont dévasté Berythe, l'ancêtre de Beyrouth, qui a été ravagée et détruite et n'a pu renaître de ses cendres avant le XVIII^e siècle. Là encore, à la période instrumentale, quasiment rien : cette faille est silencieuse.

La faille du Levant se divise en plusieurs branches au niveau du Liban. Elle fait ce qu'on appelle un coude transpressif, ce qui crée les reliefs du mont Liban (figure 12). Nous avons étudié la branche principale de la faille du Levant qui est la faille de Yammouneh à l'aide de tranchées dans des dépôts lacustres qui enregistrent en détail les événements sismiques. Ce sont des dépôts annuels et nous avons donc la possibilité d'identifier les dislocations les unes après les autres avec une extrême finesse. Ces dépôts peuvent être datés. Sur la cartographie (figure 13) - c'est presque de l'archéologie que nous faisons là - chaque petit trait noir, qui correspond à la rupture sismique qui arrive en surface, est scellé par un dépôt qui n'est pas faillé. Les terminaisons vers le haut de ces petits traits noirs nous donnent les événements sismiques, que nous sommes capables de dater, et nous pouvons donc reconstituer, sur presque 10 000 ans, une histoire de la paléosismicité de cet endroit (figure 14). Les carrés bleus correspondent aux dates obtenues dans les horizons au carbone 14 et les barres rouges sont les événements sismiques. Nous avons une quinzaine de séismes en un peu moins de 14 000 ans. Les incertitudes sont grandes ; les temps qui séparent ces séismes les uns des autres sont de l'ordre de 1 000 ans et ne sont pas forcément réguliers. Il semble y avoir une accélération récente, avec des temps de retour qui sont plutôt de l'ordre de 600 ans pour les trois derniers événements.

Sur la ligne du milieu (figure 15), qui concerne la faille de Yammouneh, on constate que le dernier séisme s'est produit en 1202, il y a donc 803 ans, qu'il semble y avoir eu d'autres séismes auparavant, espacés d'à peu

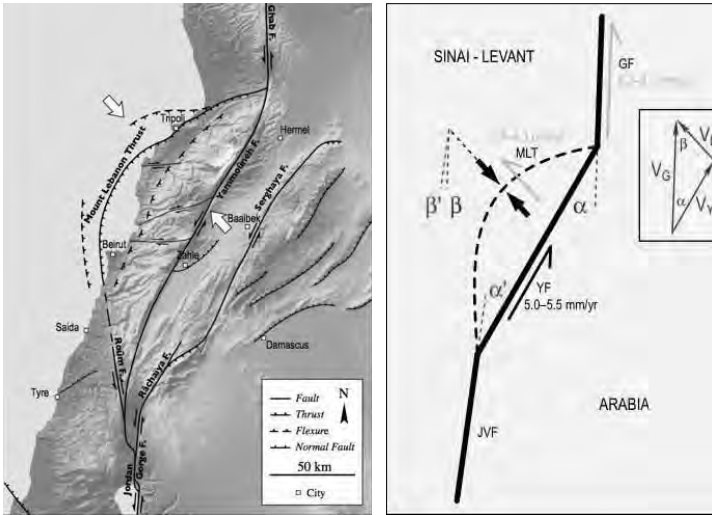


Fig. 12

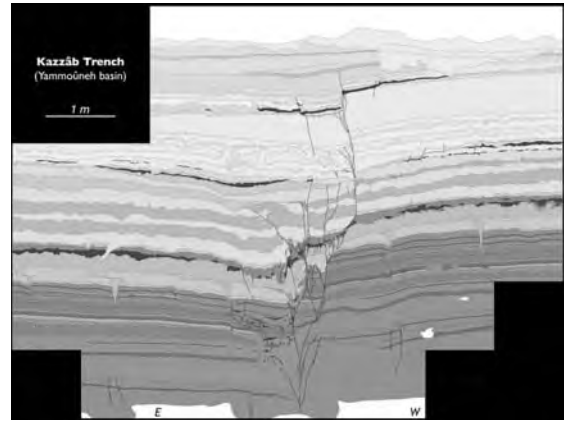


Fig. 13

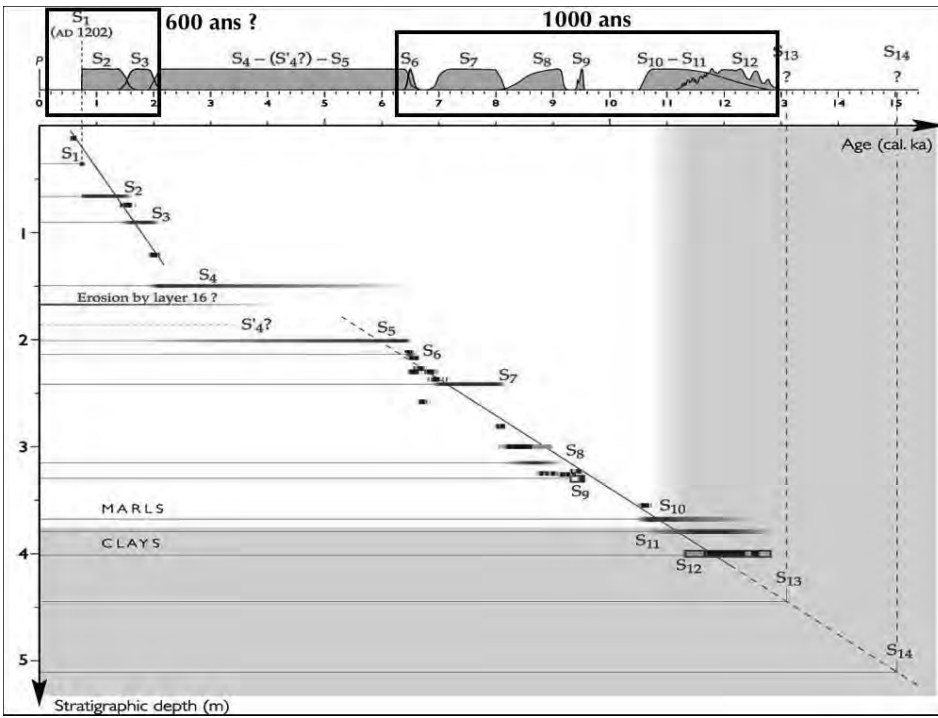


Fig. 14

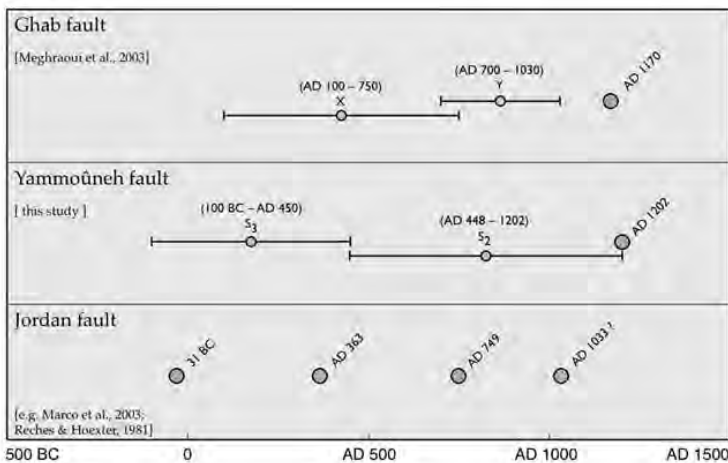


Fig. 15 : Comparaison des segments adjacents de la faille du Levant

près 600-800 ans, et que les trois séismes qui ont brisé la faille du nord au sud entre 1033 et 1202 semblent former une séquence. On a donc maintenant une bien meilleure idée du comportement des failles dans cette région. Les séismes de 1759 ne se sont pas produits sur la faille de Yammouneh. Nous nous trouvons dans un cas où la faille n'a pas bougé depuis 800 ans. Le temps de retour approximatif des grands séismes étant de cet ordre, le séisme est pour demain.

Le séisme de 551 ne s'est pas produit sur ces deux failles à terre ; il s'est produit en mer sur une faille que nous avons maintenant bien identifiée et qui décale la ville de Tripoli. On voit au milieu de la ville de Tripoli une marche d'escalier de 70 m de haut avec la ville haute et la ville basse : c'est la faille qui, sans doute, a joué en 551. Cette faille passe en mer à l'ouest de Tripoli. Il y a des évidences extraordinaires de surrection des rivages et des plages le long de toute la côte libanaise jusqu'au sud de Beyrouth. On peut voir des plates-formes d'abrasion marine qui sont aussi le site de prolifération de petits organismes qu'on appelle les vermetes - qui ne sont pas des coraux mais y ressemblent un peu -, avec plusieurs niveaux de plates-formes qui sont décalés. En voici un exemple à Tabarja (figure 16) avec le platier actuel couvert d'algues qui est à la limite intertidale (entre les marées), et une sorte de petit récif déjà karstifié et érodé, beige, 40 cm au-dessus du platier plein d'algues, dont nous pensons qu'il correspond à la surrection brutale et instantanée de la côte au moment du séisme de 551. Il y a d'ailleurs des âges de vermetes morts déterminés à partir du carbone 14 qui sont compatibles avec cette hypothèse, qui n'est toutefois pas encore prouvée.



Fig. 16

Cette faille est en mer bien sûr, et fait jaillir la côte. Elle se situe par 1 700 m de fond, ce qui porte l'altitude du mont Liban au-dessus de

la plaine abyssale du Bassin levantin à peu près à celle du mont Blanc (3 100 m + 1 700 m = 4 800 m d'altitude) - d'ailleurs «Lubnân» veut dire la montagne blanche en araméen. Il y a un piedmont plissé sous la mer, où nous avons identifié des failles actives. Il y a donc là un vrai foreland, qu'on observe classiquement dans d'autres chaînes de montagnes en Asie centrale ou ailleurs, mais qui est ici sous-marin.

Les turbidites post-messiniennes sont plissées, le sel messinien est plissé aussi. Il y a là des failles inverses dont certaines sont aveugles et d'autres arrivent en surface. Certaines provoquent de l'extension d'extrados sur le pli frontal et, dans certains endroits, ces failles arrivent en surface. Un document préliminaire montre un escarpement très frais sur le fond marin identifié au SAR qui pourrait être la rupture du séisme de 551. Nous n'en savons guère plus, c'est une piste. Nous ne savons pas si ce séisme dévastateur se reproduit tous les 2 000 ans ou tous les 3 000 ans. Sûrement la durée de retour est supérieure à 1 500 ans puisqu'il n'y a rien eu d'équivalent depuis 551. Nous ne savons pas non plus si cette faille se brise d'un coup entre Tripoli et Saïda ou si elle est segmentée. Ce sont là des problèmes cruciaux pour mieux comprendre les scénarios du futur.

Il y a beaucoup de problèmes de ce type en Méditerranée qui restent incompris. Nous ne connaissons pas suffisamment bien les failles du monde méditerranéen. Nous ne connaissons pas leur personnalité, leur fonctionnement.

Je donnerai un exemple plus proche de Casablanca pour terminer cette présentation. Vous savez qu'en mars 2004, il y a eu un séisme à Al-Hoceïma, qui faisait suite à un autre séisme qui avait eu lieu dix ans plus tôt. Il y a un changement brutal entre la tectonique de l'Algérie au sens large, qui est dominée par des chevauchements et du raccourcissement, c'est-à-dire les processus qui fabriquent les chaînes de montagnes, et la tectonique de la mer d'Alboran plus à l'est, où l'on voit surtout des mécanismes de tremblements de terre en faille normale et en décrochement (figure 17).

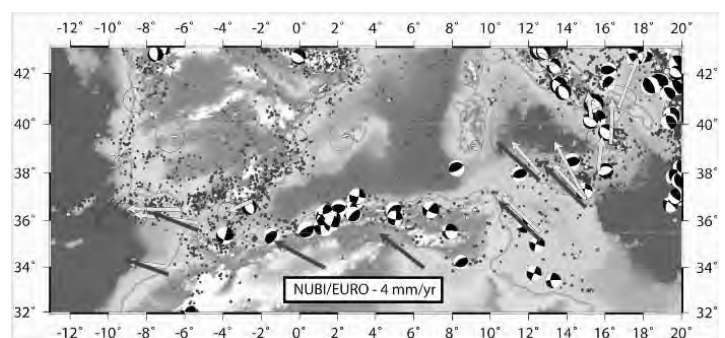


Fig. 17 : Poussée à la limite des plaques en Méditerranée occidentale

A Al-Hoceïma, ce qui est le plus flagrant sur les images satellitaires et sur le terrain, c'est une vallée nord-sud qui correspond d'ailleurs au delta du Nékor, un fossé d'effondrement bordé par des régions plus hautes. Cette vallée est limitée par des failles qu'on appelle normales - c'est connu depuis un certain temps - qui exhaussent les rivages marins de part et d'autre du fossé du Nékor.

Ce ne sont pas les trottoirs du Liban mais presque ; il y a des terrasses marines qui sortent de la mer et l'on voit des terrasses d'abrasion qui sont montées assez haut ; toutes ces terrasses ne sont pas datées pour l'instant. Les terrasses fluviales du Riss sont également décalées, elles sont perchées à l'heure actuelle. Il existe des petits cônes alluviaux sur les versants, qui sont décalés de quelques mètres ; ces cônes ne sont pas datés. Ce sont toutes des failles normales, des failles à mouvement prédominant vertical.

Pourtant, les séismes qui se sont produits en 1994 et en 2004 ont des mécanismes qui n'ont rien à voir avec des mécanismes normaux. Plus encore, quoique ce soient des séismes de magnitude 6, il n'y a pas de rupture en surface. Donc les failles que nous voyons comme actives dans la morphologie quaternaire n'ont pas bougé pendant ces séismes. Ce sont des failles dans le socle plus profond, qui n'arrivent pas en surface, qui bougent, avec un mécanisme différent. Il est clair que nous avons là un problème de premier ordre, sans doute lié à ce qui passe au nord, en mer d'Alboran, puisque ces failles continuent en mer et que ce problème n'est pas résolu. D'ailleurs, en Méditerranée occidentale, on n'a même pas de modèle de premier ordre de la déformation. C'est en partie parce que les mouvements sont lents, mais il y a un très grand nombre de choses que nous ne comprenons pas.

Voyez par exemple (figure 17) la manière dont les vecteurs GPS mesurés entre la Sicile et la Calabre tournent de pratiquement 60° , ce qui n'est prédit par aucun modèle existant. Peut-être cela reflète-t-il l'extension actuelle du rift siculo-calabrais qui ouvre le détroit de Messine.

André Gutscher parlera de ce qui se passe dans l'arc bético-rifain et de la possibilité que le séisme de Lisbonne ait été engendré par une subduction vers l'est sous l'arc bético-rifain, mais là aussi, nous avons de gros problèmes : on ne sait pas très bien ce qui fait partie de l'Afrique, tout cela n'est pas résolu.

Le mouvement même de l'Afrique n'est pas très bien contraint à l'heure actuelle. Vous avez le pôle de Nuvel1, le pôle de Giovanni Sella, le pôle de McClusky et encore un autre pôle (figure 18). Ces pôles se baladent, dans un référentiel européen, sur une zone qui fait presque 4 000 km de long. C'est la cinématique eulérienne sur la sphère. Tout mouvement de plaque par rapport à une autre est une rotation, et le pôle est l'endroit où l'axe de rotation coupe la surface de la sphère.

Vous voyez qu'à grande échelle, il reste beaucoup à faire. La cinématique mérite d'être beaucoup mieux contrainte. Nous avons pour ce faire, à l'heure actuelle, un outil merveilleux qui est le GPS continu. Il est clair qu'il nous faut des stations, si possible dans les endroits les plus stables des continents, ce qui n'existe pas en Afrique par exemple pour l'instant.

Nous avons un gros effort à faire également dans l'identification, la cartographie des failles, l'identification des segments qui ont engendré les catastrophes du passé. C'est de la paléosismologie, qui en est à ses débuts. Il

y a bien sûr en Italie, en Turquie, des équipes qui s'en occupent. Au Moyen-Orient, nous avons commencé, nos collègues de Strasbourg également. Tout cela n'est pas encore fait à une échelle suffisante, cela nécessite du temps et des moyens. Il faut plusieurs années pour arriver à des conclusions sur un segment de faille donné. Les techniques de datation font des progrès annuels. Enfin, bien sûr, il nous faut développer les réseaux sismiques, mais l'espoir de voir venir une catastrophe sismique ne pourra se concrétiser que par un mélange de toutes ces techniques et surtout en parlant entre nous pour les mettre en œuvre de façon combinée.

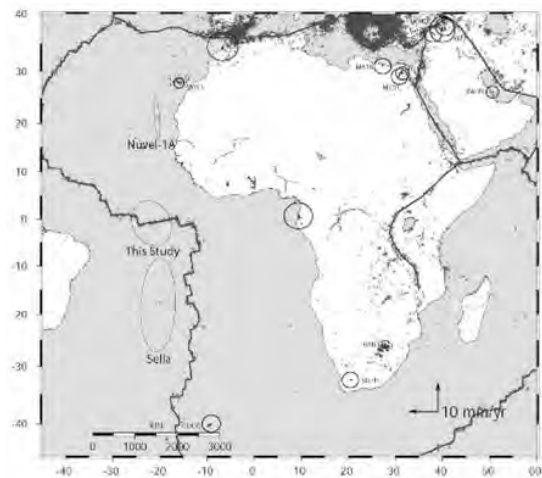


Fig. 18

Questions

R. Klapisch. –

Est-il possible d'avoir une cartographie précise des failles et de donner les moyens pour ce faire ?

P. Tapponnier. –

C'est exact et cela peut paraître le B.A-BA, mais l'air de rien, pour avoir une cartographie exacte des fonds de la mer de Marmara, il a fallu les événements de 1999. On n'aurait jamais pu lever les crédits nécessaires pour le faire s'il n'y avait pas eu ces événements. Je pense qu'il va nous falloir peut-être des événements comparables.

R. Klapisch. –

Il y a quand même eu l'océan Indien.

P. Tapponnier. –

Oui, mais vous savez, on a déposé de nombreux projets de campagnes à la mer qui n'ont pas été financés.

Y. Lancelot. –

Juste une remarque : pendant très longtemps, la géologie de terrain était la seule façon dont on regardait les

failles, puis, d'un seul coup, la géophysique a pris le dessus et l'on s'est dit qu'avec de la mesure directe de réseaux sismiques très précis, on allait résoudre le problème. Je crois que Paul Tapponnier réhabilite l'observation fine de la géomorphologie, une discipline qu'on considérait comme complètement dépassée, et l'on voit très bien que le préalable est le travail de terrain qui reste à faire, en particulier en Afrique du Nord - et c'est là que les coopérations Nord-Sud peuvent être importantes.

P. Tapponnier. –

On ne peut pas faire l'un sans l'autre. Si vous chassez un animal sans connaître la tête de l'animal que vous chassez, vous pouvez toujours courir, il se cachera derrière les arbres et vous ne le verrez pas.

Y. Lancelot. –

Je voudrais laisser la salle poser quelques questions parce que, Paul Tapponnier étant obligé de partir à 16 h, il ne sera pas présent pour la discussion.

Un participant. –

Vous n'avez pas expliqué Agadir.

P. Tapponnier. –

J'ai choisi quelques exemples parmi cinquante. Je n'ai notamment pas parlé de Lisbonne puisqu'André Gutscher va en parler. Le séisme d'Agadir a fait beaucoup plus de victimes qu'il n'aurait dû parce que c'est un séisme superficiel situé exactement sous la région peuplée d'Agadir, mais c'est un petit séisme (d'une magnitude de l'ordre de 5-6). Nous savons aujourd'hui, grâce aux travaux de Meghraoui et ses collègues, que ce séisme s'est produit sur une faille inverse qui fait monter le sud de l'Atlas. Il y a d'ailleurs des failles inverses dans une bonne partie du sud de l'Atlas et il y a aussi des terrasses marines qui sont plissées, voûtées, au nord d'Agadir, le long du littoral.

Un participant. –

Je voudrais vous remercier pour votre exposé. J'ai une question d'ordre géologique. On a l'habitude de voir des séismes répartis le long de limites de plaques, or, sur l'une de vos diapositives, on voit qu'il y a une sismicité un peu oblique sur la limite Afrique/Europe, qui traverse la mer d'Alboran. Vous avez d'ailleurs dit que c'est une zone un peu compliquée. Il y a une orientation à peu près nord-est/sud-ouest complètement oblique sur la limite Afrique/Europe, et je l'avais vu un peu dans un profil transméditerranéen où il y a une anomalie thermique qui suit un peu cette ligne de sismicité. Comment pourrait-on expliquer cette obliquité ?

P. Tapponnier. –

Vous avez vu ce croquis très schématique où il y a une grande ligne rouge qui part de la Grèce, qui entoure l'Adriatique et qui longe ensuite toute la côte du Maghreb jusqu'à Gibraltar et au-delà. Cette ligne rouge est une vue de l'esprit. Il faut faire très attention en Méditerranée occidentale car on a encore du mal - cela fait partie de nos grands problèmes - à identifier des limites de blocs. Pendant longtemps d'ailleurs, on s'est dit que tout cela était de la déformation dite intra-plaque, c'est-à-dire qu'il y a des failles qui jouent mais qu'il n'y a pas vraiment de frontières de plaques. Donc on en est là. Si moi et d'autres avons envie d'isoler par exemple un bloc «Alboran», la faille dite d'Alboran, qui part d'El-Hoceima ou presque et qui rejoint ensuite la faille d'Almeria en Espagne, constituerait une frontière de blocs, mais il faudrait ajouter ce bloc dans le schéma général et c'est un bloc compris entre l'Afrique et l'Espagne. L'Espagne elle-même est d'ailleurs un bloc séparé de la France par les Pyrénées, qui sont une zone active - en France, vous le savez, il y a un rift qui n'est pas le site des éruptions volcaniques les plus violentes actuellement, mais qui l'a été, et qui, en tout cas, est sismique. Donc on est dans un domaine de déformation un peu faible, qui est intermédiaire entre la tectonique des plaques telle qu'on la connaît et la déformation intra-plaque.

Le risque volcanique autour de la Méditerranée¹

Franco Barberi

Université de Rome 3

L'exposé précédent vient de nous montrer que l'espace méditerranéen était sujet à de fréquents tremblements de terre. Le risque volcanique est en général moins important que le risque sismique, mais de temps en temps, les volcans font des éruptions qui, en fonction du lieu et de la densité d'habitants, peuvent provoquer des catastrophes considérables.

Je vais vous accompagner pour un petit voyage à travers le risque volcanique et je terminerai en évoquant le volcan dont le risque est le plus élevé au monde : le Vésuve, en Italie.

Le phénomène le plus connu est la coulée de lave, c'est-à-dire l'avancée d'un liquide à haute température qui est de la roche fondue : le magma. Ces coulées de lave ne sont pas très dangereuses hormis quelques cas exceptionnels comme, par exemple, celui du volcan Nyiragongo en Afrique qui, du fait de la haute fluidité de son magma, peut produire des coulées qui avancent jusqu'à à 70-80 km/h et qui ont donc causé des morts. Normalement, la vitesse d'une coulée de lave n'est pas assez élevée pour faire des victimes. Le refroidissement pendant l'avancée de la coulée augmente sa viscosité, donc la vitesse de la coulée diminue et on a normalement le temps de sauver les personnes. En revanche, on ne peut pas empêcher les destructions matérielles et les coulées peuvent produire des dommages considérables.

On a appris à contrôler les coulées, notamment avec l'Etna qui est l'un des volcans les plus actifs au monde, avec des éruptions en continu, presque tous les ans, et dont les activités sont essentiellement des coulées de lave. On a appris deux techniques essentielles :

- La première technique représentée sur les deux photos de la figure 1 (planche IV) est la déviation d'une coulée en intervenant près de la bouche éruptive où le magma sort du volcan : on installe un canal artificiel puis, à l'aide d'explosifs, on fait reverser la lave dans ce canal artificiel. La lave n'est pas un fluide newtonien mais un fluide avec des propriétés physiques particulières, qu'on appelle fluide de Bingham : l'accélération de la gravité n'est pas suffisante pour le faire avancer, et si l'on parvient à interrompre le flux de lave près de la bouche, la coulée s'arrête. Sur l'Etna, on a déjà mis cette technique en œuvre par deux fois avec succès et l'on a réussi à protéger ainsi des villages.
- La deuxième technique (figure 2) consiste à bâtir des barrages de terre sur le front de la coulée avec une direction définie, et permet d'obtenir de bons résultats. En haut, vous voyez un barrage transversal au

front de la coulée qui a retardé d'un mois l'avancée de la lave. En bas, vous voyez des barrages dans la direction de la coulée, qui ont parfaitement réussi à dévier celle-ci de façon à protéger les bâtiments que vous voyez de l'autre côté du barrage.



Fig. 2 : Contrôle des coulées de lave. Barrages de terre, orthogonaux ou transversaux au front de la coulée. En haut (1991-1992), l'avancée de la lave a été retardée d'un mois. En bas (2001), la lave a été déviée vers un trajet moins destructeur.

On a donc appris un certain nombre de techniques pour se défendre des coulées.

Le vrai problème des éruptions volcaniques, c'est lorsque l'éruption a un caractère explosif. Au contraire de

¹ Transcription de l'exposé en français.

la coulée qui est un flux continu de liquide, ce qui sort du volcan est alors un nuage de gaz riche en fragments de magma. L'énergie peut être très variable, et l'on peut avoir des nuages jusqu'à 50 km au-dessus du volcan ou des projections jusqu'à quelques kilomètres.

Le phénomène de loin le plus dangereux de l'activité explosive du volcan est la production des coulées pyroclastiques générées par l'effondrement gravitationnel de ce nuage. Ces coulées avancent à une vitesse qui peut être supérieure à 5 km/h. Elles ont une pression dynamique énorme, une chaleur très élevée et donc un pouvoir de destruction presque total. La figure 3 montre, en haut, une photo de la ville de Saint-Pierre en Martinique, détruite presque entièrement en 1902 par une coulée pyroclastique, et vous voyez, sur la photo du bas, comment se présente cette coulée quand elle avance : un nuage de gaz chargé de fragments pyroclastiques.

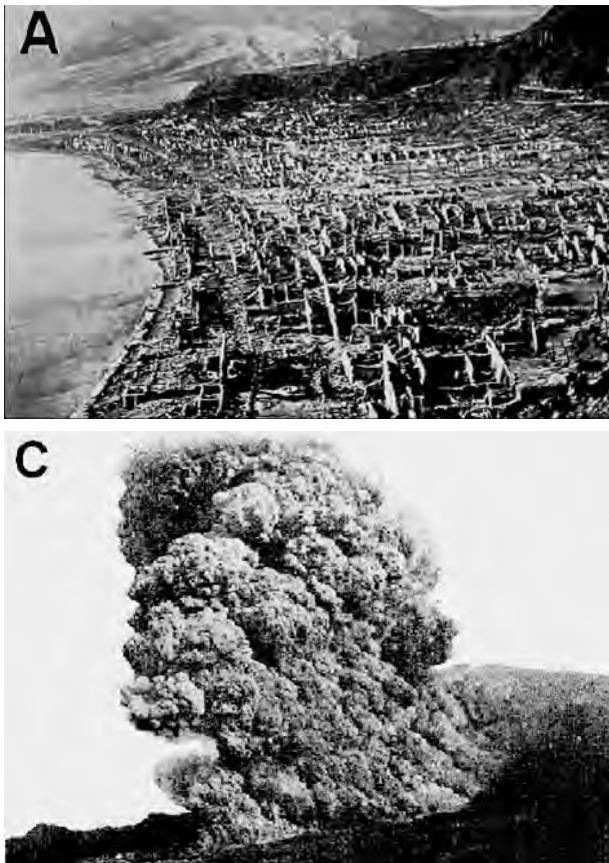


Fig. 3 : Eruptions explosives. L'émission à haute énergie de fragments de magma et de gaz est de loin la plus destructrice. Les désastres majeurs sont produits par les coulées pyroclastiques (ex. : mont Pelée, Martinique, 1902 : 29 000 victimes).

Un autre danger très sérieux associé à l'activité volcanique est constitué par les lahars, c'est-à-dire des coulées de boue (figure 4, planche IV). Plusieurs mécanismes peuvent générer des coulées de boue. S'il y a sur le volcan une couverture de glace, de neige glaciaire per-

manente, l'éruption peut provoquer leur fusion, et une grande quantité d'eau se déverse sur le flanc de la montagne, entraînant une inondation avec un énorme pouvoir de dévastation. Le dernier exemple, terrible et catastrophique, est celui de Nevado del Ruiz en Colombie (Amérique du Sud), qui a fait 25 000 victimes en 1985. S'il y a un lac dans le cratère du volcan, l'éruption peut vider le lac, avec, là encore, une émission d'énormes quantités d'eau qui produisent des coulées de boue très dangereuses. On en a un exemple célèbre en Indonésie, mais nous avons aussi un risque de ce type près de Rome avec le volcan Colli Albani (*Alban Hills*) et le lac de Castel Gandolfo - où se trouve la résidence d'été du pape. On vient de découvrir qu'il s'agit d'un volcan actif, qui a fait des éruptions et a produit à plusieurs reprises des coulées de boue jusqu'à l'époque romaine. Les Romains, au IV^e siècle av. J.-C., ont creusé un tunnel pour maintenir bas le niveau du lac, ce qui constitue, je crois, la première œuvre de prévention jamais réalisée au monde.

Encore plus fréquente est la mobilisation par la pluie des cendres déposées pendant une éruption explosive. Les éruptions explosives s'accompagnent toujours de pluies torrentielles du fait de l'énorme quantité de vapeur d'eau qui est éjectée en hauteur au-dessus du volcan. Il y a aussi les cendres qui font descendre l'agrégation de l'humidité de l'air et il y a donc toujours de fortes pluies. La pluie mobilise les cendres incohérentes qui ont été déposées sur les flancs du volcan et même sur des reliefs éloignés du volcan, et provoque ces phénomènes.

On a également des tsunamis associés aux éruptions volcaniques et qui ne sont pas d'origine sismique. Les causes de ces tsunamis sont essentiellement de deux types : un tsunami peut être provoqué par l'entrée dans la mer d'un énorme volume de coulées pyroclastiques ; l'autre possibilité est un effondrement, par exemple à la fin d'une grande éruption explosive ; c'est l'exemple de Santorin en Méditerranée, auquel on attribue avec incertitude la destruction de la civilisation minoenne, mais il existe beaucoup d'autres exemples. La figure 5 montre une photo de l'île de Stromboli, dans le sud de l'Italie, où il y a eu, le 30 décembre 2002, un glissement de terrain partiellement sous-marin qui a provoqué un tsunami avec une vague de 11 m de haut. Si cela s'était passé au mois d'août, on aurait compté les victimes par milliers.

Le dernier phénomène est la retombée de cendres, de matériel pyroclastique fragmenté. Si ceux-ci s'accumulent jusqu'à excéder la capacité de résistance des toits, ces derniers s'effondrent. Il y a également, à proximité du volcan, la projection de blocs de très grandes dimensions, avec des dommages directement associés.

Tels sont les phénomènes qui peuvent se produire.

La carte de la figure 6 indique les volcans actifs en Méditerranée. On les trouve essentiellement dans deux zones : le sud de l'Italie avec les volcans les plus célèbres au monde puisque la classification des types d'éruption vient des volcans italiens : Etna, Vulcano, Stromboli, Vésuve, champs Phlégréens, etc. ; et l'arc Egéen en Grèce,



Fig. 5 (ci-dessus) : Tsunami par effondrement du flanc ou de la caldeira d'îles volcaniques, ou par l'entrée dans la mer d'importants volumes de coulées pyroclastiques. Ex. : Santorin, Grèce, ~1500 av. J.-C. : destruction de la civilisation minoenne ; Tambora, Indonésie, 1815 : 10 000 victimes (également par coulées pyroclastiques); Krakatau, Indonésie, 1883 : 36000 victimes.

Fig. 7 (ci-contre) : Vésuve. Du fait du caractère explosif de l'éruption attendue et de la haute densité de population dans les zones à risque, le Vésuve a le niveau de risque le plus élevé au monde.



Fig. 6 : Risque volcanique en Méditerranée. Les deux principales zones d'activité volcanique sont l'Italie du Sud (Etna, Vulcano, Stromboli, Vésuve, champs Phlégréens, etc.) et l'arc Egeén en Grèce (Santorin, Nisyros, etc.). Des zones très étendues peuvent être dévastées en dehors du volcan par des tsunamis et des retombées pyroclastiques sous le vent.

où l'on a aussi des volcans actifs, dont les plus importants sont Santorin et Nisyros. Paul Tapponnier vient de mentionner également l'éventualité que certaines zones en France et en Allemagne puissent encore produire des éruptions volcaniques.

Je rappelle qu'au-delà de la zone autour du volcan qui peut être totalement dévastée, les tsunamis et même les retombées des cendres transportées par le vent peuvent affecter des zones beaucoup plus larges que le volcan lui-même.

On peut faire un certain nombre de choses pour limiter le risque.

La première est d'anticiper le moment du déclenchement d'une éruption explosive. On a une certaine capacité à comprendre qu'un volcan est en train de se réactiver. Il

faut donc organiser un plan d'urgence, et savoir suivre le phénomène jusqu'au moment où la probabilité d'éruption devient très élevée. Il faut savoir quoi faire pour sauver les personnes, et sincèrement, la seule méthode est l'évacuation des personnes hors de la zone.

Je vais exposer quelques mesures de risques à adopter pour le Vésuve. Je vais parler du Vésuve, pas uniquement parce que je suis italien et que je l'ai étudié, mais parce c'est le volcan qui présente le niveau de risque le plus élevé au monde. Le risque dépend évidemment du type d'éruption que le volcan peut produire : ici des éruptions explosives d'une énergie considérable. Mais le risque dépend surtout ici de l'extension urbanisée presque continue autour du volcan, avec une expansion des habitations qui ont commencé à monter vers le cratère (figure 7). La

densité d'habitants poserait des problèmes même dans une zone sans risque sismique et sans risque volcanique. Dans certaines zones près de la côte, il y a des petits ports où la concentration d'habitants au kilomètre carré n'est devancée que par celle de Hong-Kong.

La première chose à faire quand on doit décider quel est le niveau de risque et quoi faire est d'évaluer le type d'éruption que le volcan peut produire. Or un volcan comme le Vésuve a connu, dans son histoire, différents types d'éruption. Il a eu des périodes «en conduit ouvert» où l'activité était persistante, avec des éruptions très fréquentes, comme pour l'Etna actuellement. Le niveau d'explosivité était plutôt faible (3 sur l'échelle d'explosivité volcanique utilisée par les volcanologues et qui va jusqu'à 6-7), avec des petits volumes d'éruption de magma. La période d'activité de ce type a duré trois siècles et s'est terminée en 1944. Depuis 1944, il y a donc 61 ans, le Vésuve est dans une période de repos. Ces périodes de repos, dans l'histoire du volcan, peuvent durer des siècles, voire des milliers d'années, mais quand elles s'interrompent, c'est toujours par une éruption très violente de haute énergie, qu'on appelle plinienne ou sous-plinienne. Nous sommes depuis 60 ans dans une de ces périodes, qui va être interrompue, nous ne savons pas quand, par une éruption sûrement dangereuse. L'exemple type en est la fameuse éruption plinienne de 79 ap. J.-C, mais il y a eu des éruptions de ce type un peu moins violentes et vous voyez, sur l'image de la figure 8, la dernière qui remonte à 1631. Les périodes de repos ont duré jusqu'à 1 000 ans pour un cas et au minimum 500 ans, donc des périodes très longues.

On peut s'attendre, en cas de reprise de l'activité éruptive dans disons les dix prochaines années, à une éruption explosive, de niveau d'énergie un peu plus bas que cette éruption plinienne ou sous-plinienne mais en tout cas de niveau assez élevé. Très rapidement, voici le scénario avec les cartes des différents risques.

La carte de retombée des cendres (figure 9, planche V) dépend évidemment de la direction des vents, ici presque toujours orientés est/nord-est est/sud-est. La courbe jaune, qui est celle qui a été choisie pour le plan d'urgence, correspond à une quantité de cendres supérieure à 300 kg/m² et vous voyez dans le tableau qu'avec ces valeurs de charge de cendres sur les toits, il y a autour de 20 % des toits qui vont s'effondrer.

Les coulées pyroclastiques sont évidemment les plus dangereuses. La combinaison de toute une série d'études qui ont contrôlé sur le terrain l'extension des dépôts de coulées pyroclastiques des éruptions précédentes, et la simulation numérique, grâce au modèle physico-numérique de ce type d'éruption, vont permettre, en ajoutant certains paramètres-clés de l'éruption, d'estimer la distance qui pourrait être parcourue. Tous ces renseignements conduisent finalement à cette ligne rouge qui limite la zone où la probabilité de dévastation par coulées pyroclastiques est élevée (figure 10, planche V). Evidemment la segmentation est une limite administrative, une limite des communes autour du Vésuve.



Fig. 8 : Les éruptions marquant la réouverture du conduit après des périodes de repos de durée variable sont de type explosif, d'intensité variable, généralement avec une phase principale plinienne (79 ap. J.-C.) ou sousplinienne (472 ou 1631) (colonne soutenue puis s'effondrant) et des phases initiale et finale phréatomagmatiques. Sousplinienne VEI=4, Vol.=0,1-0,5 km³; plinienne VEI=5, Vol.=0,5-5 km³.

La figure 11 (planche V) montre un exemple de simulation numérique de coulée pyroclastique. La première image correspond à 20 secondes après la formation du nuage qui va générer la coulée pyroclastique, et la dernière image à 300 secondes soit 5 minutes. Vous voyez que tout le volcan jusqu'à la mer est totalement affecté par les coulées pyroclastiques en 5 minutes. Ce sont donc des phénomènes très rapides. Toute la zone autour du volcan va être envahie, dévastée, détruite par les coulées pyroclastiques en quelques minutes après la formation du phénomène. Cela ne laisse évidemment pas le temps de pouvoir mettre la population en sécurité lorsque l'éruption a commencé. Pour sauver les personnes, il faut donc toutes les évacuer de la zone exposée au risque avant le début de l'éruption.

Un autre problème sérieux est le risque de coulée de boue, de lahar. Sur la carte de la figure 12 (planche

V), vous voyez que le problème se situe évidemment sur l'édifice volcanique, sur le cône du Vésuve, mais ce n'est pas grave puisque c'est la même zone qui va être affectée par les coulées pyroclastiques... On ne peut pas mourir deux fois et il suffit donc de s'occuper d'un seul de ces problèmes ! Mais vous voyez que, dans la direction préférentielle du vent de la zone du Vésuve, on va être dans la zone à risque même à des distances considérables : des accumulations de cendres, mobilisées par la pluie, peuvent générer des coulées de boue même dans les zones assez éloignées du volcan. Il faut s'occuper aussi de ces personnes et les sauver.

Les résultats sont les suivants. On définit trois zones :

- dans la zone rouge, exposée au risque de coulées pyroclastiques, vivent actuellement 551 000 personnes soit plus d'un demi-million de personnes, qui doivent toutes être évacuées avant le début de l'éruption ;
- dans la zone jaune, exposée au risque de retombées de cendres, vit plus d'un million de personnes. Seule une fraction de ces personnes (100 000 à 150 000) va être concernée, en fonction de la direction du vent. On n'a pas besoin de les évacuer avant car il n'y a pas de danger immédiat - d'ailleurs on ne le pourrait pas puisque personne ne peut savoir quelle sera exactement la direction du vent au moment de l'éruption -. Il faudra les évacuer au début de l'éruption quand sera connue la direction du vent ;
- enfin, dans la zone bleue, exposée au risque de coulée de boue, de lahar et même des alluvions, vivent 181 000 personnes. Entre 20 et 40 % des habitants peuvent être affectés selon la direction du vent.

Plus de 500 000 personnes à évacuer avant le début de l'éruption... Que faire ? où les mettre ? comment s'en occuper ?

Le plan d'urgence du Vésuve (figure 13) prévoit ce qu'on appelle une carte de jumelage entre les différentes régions d'Italie et les différentes villes, petites villes ou communes situées autour du volcan. Chaque région doit prendre en charge une de ces villes. Par exemple, la Toscane, ma région d'origine, doit prendre en charge la ville d'Ercolano qui compte 60 000 habitants. La région d'accueil doit s'occuper de tout : du logement, de la nourriture, mais aussi de l'école, et de tous les problèmes sociaux. Ce plan a pour objectif de maintenir l'unité de l'administration qui va être évacuée, avec ses administrateurs, ses enseignants, ses médecins, de manière à essayer de diminuer au maximum les difficultés face à une catastrophe de ce type. Les personnes qui habitent dans la zone jaune (retombée de cendres) et dans la zone bleue (coulée de boue), vont être évacuées après le début de l'éruption et vont être réparties en Campanie même.

On est capable, dans une certaine mesure, de prévoir l'éruption, au moins de se rendre compte que le volcan commence à évoluer. Dans un cas comme celui du Vésuve, on a un cratère avec un conduit serré et, à une certaine profondeur, le magma. Il y a eu des études par exemple de

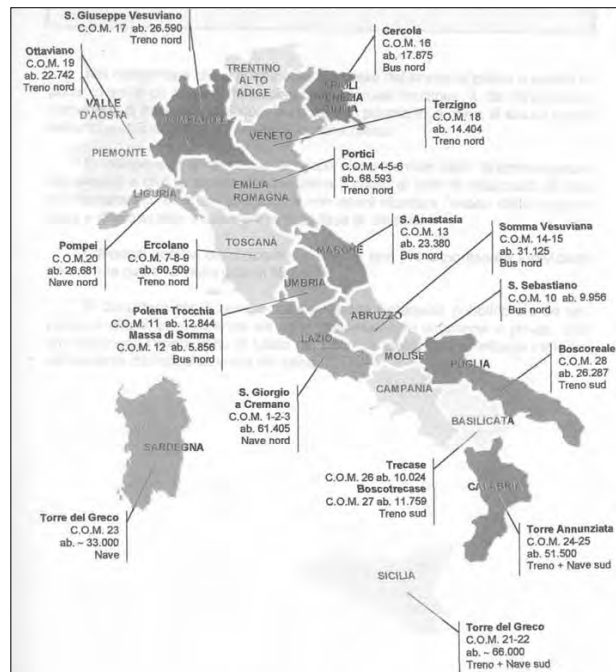


Fig. 13 : Plan d'urgence du Vésuve. Les résidents de chaque municipalité de la zone rouge (cf fig. 10) seront transférés dans l'une des régions d'Italie et hébergés de façon à maintenir autant que possible leurs liens administratifs, scolaires, sanitaires. Un accord de jumelage a été signé par toutes les régions et le gouvernement national. Des exercices sont régulièrement effectués impliquant 1 000 à 2 000 étudiants et leurs familles afin d'améliorer les liens avec les communautés hôtes. Les personnes évacuées des zones jaune et bleue seront hébergées en Campanie.

thermographie sismique qui ont essayé d'évaluer à quelle profondeur le magma se trouve. En tout état de cause, avant l'éruption, ce magma doit faire un voyage vers la surface, et l'éruption commence lorsqu'il est arrivé en surface. Ce voyage s'accompagne de toute une série de phénomènes : des tremblements de terre qui produisent des fractures le long desquelles le magma remonte ; une pression qui s'accumule en profondeur avec une déformation, un soulèvement du sol très caractéristique, des gaz qui s'échappent. On observe des variations de la composition chimique et isotopique, des flux de chaleur ; la remontée du magma, qui est un matériau de densité différente de la roche, pénètre avec une haute température, modifie tous les champs physiques de la terre : gravimétrique, magnétique, électrique. Donc si un volcan est bien surveillé, qu'on mesure tous ces paramètres, on a une bonne possibilité de prévoir l'éruption.

Mais le problème est qu'on a 500 000 personnes à évacuer avant le début de l'éruption, et qu'on n'a pas droit à l'erreur. Si l'on décide trop tôt, qu'on évacue des millions de personnes et que l'éruption ne se produit pas, ce sera une catastrophe économique. En revanche, si, pour éviter une fausse alarme, on attend trop, on risque que l'éruption commence alors qu'il reste encore des gens dans les zones exposées. C'est un problème vraiment très difficile à gérer.

En conclusion, dans les zones sismiques, du moins dans la plus grande partie des zones sismiques, si l'on est vraiment sur la faille, comme Paul Tapponnier nous l'a montré sur certaines photos, on peut essayer de se défendre en bâtissant des constructions sismo-résistantes. Mais pour certains phénomènes volcaniques, il n'y a vraiment rien à faire. On n'a pas encore inventé, à un coût raisonnable, des bâtiments qui puissent résister aux coulées pyroclastiques.

La seule manière de réduire le risque en ce qui concerne le Vésuve est de diminuer la densité de personnes qui vivent dans les zones dangereuses. La région de Campanie a lancé, il y a quelques années, un plan très important, avec un investissement de plus de 700 millions d'euro, dont l'objectif est de diminuer d'au moins 35 000 le nombre de résidents dans la zone rouge. Il existe toute une série d'aides versées aux familles pour leur permettre d'acheter une maison hors de la zone dangereuse ; il existe des programmes publics de logements à destination des populations moins riches, toujours hors de la zone à risque. Il y a aussi une détermination, qui n'existait pas auparavant, à lutter contre les constructions abusives. Je pense qu'un bénéfice va être sûrement être obtenu du fait que depuis que ce plan a été approuvé, il y a beaucoup de discussions entre les administrateurs, les gens... Jusqu'à une époque très récente, personne ne voulait entendre parler du risque Vésuve, mais maintenant, le fait que le Vésuve est un volcan actif avec un risque très élevé est entré dans la conscience populaire. Cette simple prise de conscience du risque est déjà un résultat important.

Y. Lancelot. –

Le fait que l'Italie ait réussi à faire un effort considérable, sur la construction notamment, les plans d'évacuation, est absolument remarquable quand on sait les pressions immobilières dans les pays du sud de l'Europe et en particulier en Italie. On ne peut s'empêcher de comparer avec ce qui s'est passé en Louisiane, en Alabama, etc. On constate qu'il y a du risque parce que les populations sont installées à des endroits où elles ne devraient pas être - elles n'ont peut-être pas forcément le choix - et que le grand problème est celui de l'évacuation avec une logistique extraordinaire, et l'on voit que si cette pré-

paration se continue en Italie, on parviendra peut-être à réduire le nombre de victimes. Malheureusement, je crois qu'il y aura quand même beaucoup de victimes.

Je vais passer la parole Jean Virieux qui est professeur à l'Université de Nice Sophia-Antipolis et qui a participé aux premières instrumentations sismiques sous-marines devant la Côte d'Azur.

Vous avez vu les cyclones épouvantables qui viennent de se produire, et surtout le nombre incroyable de victimes : vous avez vu l'évacuation de la Louisiane où vous aviez une autoroute complètement bloquée et dont on n'avait pas ouvert l'autre sens, je ne sais pas pourquoi, et l'on était ainsi dans une situation épouvantable.

Cela montre bien que c'est un problème pour lequel des normes de protection civile autour de la Méditerranée devraient pouvoir être mises en place. Cela vaut aussi bien pour la sismique que pour le volcanisme. Je pense que Franco Barberi nous a bien montré que, pour le volcanisme, on a quelques jours, peut-être deux ou trois, pour faire ce travail ; si les gens sont prévenus dès maintenant, s'ils savent qu'il y a des plans, ils pourront s'y tenir.

Dans le cas de la sismique, évidemment un tremblement de terre a des effets très différents, mais, là encore, il faut penser aux problèmes d'évacuation et de secours d'urgence, ce qui pour l'instant n'est pas forcément ce qui est le mieux développé. Le volcanisme provoque aussi des tremblements de terre : par exemple à la Martinique, on sait qu'on aura certainement un autre tremblement de terre d'ici peu, peut-être sans éruption volcanique d'ailleurs, et la construction spéciale parasismique, qui coûte à peu près 20 à 25 % de plus que la construction normale, n'est absolument pas mise en œuvre.

Dans les pays riverains de la Méditerranée, en Afrique du Nord en particulier, je ne sais pas à l'heure actuelle si dans la région d'El-Asnam ou dans la région d'El-Hoceima, la construction parasismique est strictement mise en œuvre. En tout cas, c'est un point sur lequel il faudrait insister et si l'on a des recommandations à faire, c'est qu'il y ait des commissions internationales de la Méditerranée dans le cadre de programmes euro-méditerranéens qui mettent en place un contrôle de la construction puisque c'est finalement ce qui cause les plus gros dégâts.

L'instrumentation sismique¹

Jean Virieux

Université de Rome 3

Ma présentation portera non pas sur la technique de l'instrumentation sismique, mais sur les motivations que nous avons de mieux observer la Terre. Ma spécialité scientifique est fondée sur l'interprétation et la simulation, l'analyse des signaux sismologiques, mais, depuis que je suis à Nice Sophia-Antipolis, je plaide pour une augmentation de l'observation, et ce sera le sens du message que je vais essayer de faire passer rapidement.

On doit vraiment avoir une volonté d'observation massive des paramètres environnementaux. Je salue le courage politique de Franco Barberi qui a, lorsqu'il était secrétaire d'Etat en Italie, pris des initiatives d'homme politique pour faire en sorte que le risque au Vésuve soit fortement réduit. C'est à la fois la contribution d'un scientifique, et aussi d'un homme qui a pris des responsabilités politiques.

L'objectif est de faire en sorte que l'éducation et la formation au risque soient augmentées. On doit comprendre et mieux saisir ces phénomènes naturels de grande ampleur au niveau physique, de manière à assurer la protection et la sécurité vers des systèmes d'alerte. Si parmi ces trois points : éducation et formation, recherche et compréhension, sécurité et protection, je devais en choisir un à mettre en priorité, c'est bien sûr l'éducation et la formation qu'il faudrait enclencher comme étant les plus efficaces pour réduire les risques naturels.

Je voudrais insister sur le fait que la Terre n'est pas sous haute surveillance. J'ai souvent entendu dire que les scientifiques se penchent sur des problèmes des catastrophes naturelles et que la Terre est sous haute surveillance ; je voudrais montrer et illustrer que ce n'est pas le cas à l'heure actuelle. Les deux brillantes présentations qui ont précédé ont montré le degré d'incertitude et parfois d'ignorance que nous avons.

Je voudrais saisir l'occasion pour vous montrer que la Méditerranée occidentale est l'endroit parfait d'une démonstration de faisabilité de la réduction des risques naturels non seulement en raison des phénomènes qui s'y passent, mais également en raison d'une croisée de cultures très différentes autour de cette Méditerranée.

La sismologie instrumentale est une science jeune. C'est en 1889 qu'on a pu mettre en corrélation un signal observé à Potsdam en Allemagne avec un séisme au Japon. Et peu de gens soulignent que c'est grâce aux moyens de communication modernes que cette corrélation a été faite entre un phénomène relativement anodin sur un pendule qui vibrait en Allemagne et une catastrophe qui avait été annoncée par les moyens de communication au Japon. La Terre était donc transparente aux

ondes, qui se propageaient dans la Terre totale, globale, et n'étaient pas limitées, comme on le sait depuis l'Antiquité, à la zone épicertrale, à la zone source.

Cela a permis aux sismologues d'avancer énormément dans la connaissance de la Terre. Sachez quand même qu'au début du XX^e siècle - Etienne Guyon l'a mentionné - alors que nous avons des articles comprenant l'infiniment petit, que la physique des quanta était présente en 1905, on ne savait pas de quoi était constituée la Terre, ni où se trouvaient les masses principales. Les découvertes en 1906 par Oldham du noyau solide et en 1936 par Ingrid Legman de la graine à l'intérieur sont à porter au crédit de la sismologie. Cela montre que la sismologie a également un apport de connaissances fondamentales.

Qu'entendons-nous par observation massive ? On a toujours une alternative dans nos sciences : soit nous avons peu d'instruments de grande qualité bien connectés qui nous permettent, en temps quasi réel, d'obtenir de l'information - c'est typiquement une approche assez militaire du problème, associée en général aux explosions nucléaires comme le *Comprehensive Test Ban Treaty* à Vienne - ; soit nous avons une répartition massive sans garantie sur la qualité ni sur la fiabilité, conduisant au principe de redondance, tout cela étant lié à l'émergence des réseaux Internet et de ce qu'on appelle le *grid computing* (grilles de calcul). Sachez, pour avoir un ordre de grandeur, que les grands projets américains d'observation du continent nord-américain qui doivent se déployer d'ouest en est dans ce qu'on appelle le *Bigfoot Experiment* vont durer 10 ans et ne sont qu'un déploiement de 800 capteurs sur ce continent alors que dans l'industrie, par exemple en Arabie Saoudite, pour surveiller ou explorer un réservoir pétrolier, le nombre de canaux d'enregistrement est de 300 000, soit 100 000 capteurs à trois composants.

L'observation sismologique est possible maintenant en dehors des laboratoires scientifiques, ce qui est, il faut bien le reconnaître, une révolution pour nous. On peut faire une physique de pointe dans des endroits qui ne sont plus confinés au laboratoire des sciences, ce qui nous donne une certaine humilité en tant que scientifiques. Il est donc important de préparer notre société à être confrontée à ces informations. Que se passe-t-il quand des gens ont observé un événement, dans leur maison ou près de chez eux, qu'ils ne comprennent pas et qui peut déclencher des scènes parfois de panique ?

¹ Transcription de l'exposé en français.

Imaginons par exemple que sur les 10 000 lycées français, 1 000 soient équipés d'instrumentation environnementale (mesure de la température, de la pression ou de la vibration du sol, du contenu chimique de l'air), cela représente plus de mesures que le grand projet américain USARRAY.

Combien de gendarmeries et d'hôpitaux pourraient être équipés, sans parler des initiatives individuelles comme celles que connaît le Japon à l'heure actuelle, où vous pouvez acheter, pour une somme de l'ordre de 10 000 euro, un sismographe que vous installez dans votre salon et qui vous prévient du prochain tremblement de terre ? Ce n'est pas de la fiction, mais une réalité dangereuse à manipuler.

Bien sûr, cela implique une gestion très importante des données sismologiques. Les flux ne sont pas énormes par station, (100 Mo par jour et par station), mais avec 10 000 instruments, vous voyez tout de suite la masse de données à gérer.

L'interprétation en temps réel est possible, mais nécessite des sociétés structurées, du personnel bien entraîné avec une conservation du savoir-faire sur des périodes longues pour maintenir et analyser ces données.

Enfin ces informations doivent être diffusées et il faut des sociétés de personnes éduquées qui comprennent l'information à diffuser. Voir des gens prendre une photo d'un tsunami sur une plage montre de manière flagrante la non éducation aux phénomènes naturels. Pour montrer combien c'est simple : un capteur sismologique à trois composants est une petite boîte cylindrique, il est relié à une station d'acquisition de la taille d'une boîte à chaussures, et cet équipement peut être installé dans des lycées qui, typiquement, n'utilisent pas durant la nuit leur bandes de communication, qui peuvent donc être utilisées pour des transferts de paramètres environnementaux sans pénaliser les enfants dans leurs communications durant la journée.

Cela nous amène bien sûr à cette grande motivation de la sensibilisation et de l'éducation. Le projet EduSeis (*Educational Seismological Network*) (figure 1), avec des partenariats divers en Europe, entre le Portugal, l'Allemagne, l'Italie et la région de Naples, et le sud-est de la France, a pour objet de faire prendre conscience aux enfants, et donc aux parents, de ce problème du risque naturel. Une illustration en est donnée dans ces tracés rouges de l'enregistrement d'un séisme en Inde, aux confins du Pakistan, qui a été enregistré dans la région de Nice. Cela vous montre que nous pouvons faire des enregistrements scientifiques de qualité dans des écoles sans aucun problème - je vous passe l'interprétation, mais il y a du *scattering*, de la conversion d'ondes, qui peuvent, bien sûr, être interprétés. Nous avons l'intention, dans le cadre d'un projet européen, d'installer une station grâce à un partenariat avec les Algériens dans la région de Boumerdès. Si des opportunités existent pour des collègues professeurs au Maroc, nous serions extrêmement intéressés d'y collaborer.

L'environnement est donc un problème de société. Pour être un peu provocateur à l'égard des différentes dis-

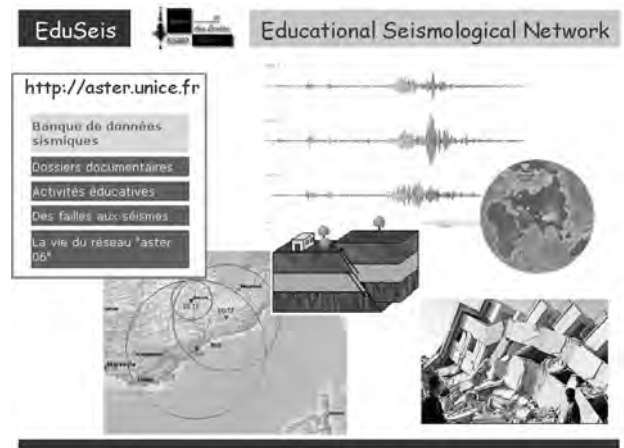


Fig. 1

ciplines - et je remercie à cette occasion Yves Lancelot pour son invitation à présenter cette communication -, il n'y a pas que le réchauffement climatique comme problème sur la planète et il n'y a pas qu'un seul type d'observations, celles faites à partir des satellites. On met en général en avant l'observation satellitaire, qui doit exister bien sûr, et le réchauffement climatique est lui aussi très important, mais il ne faut pas oublier les autres problèmes associés aux différents risques naturels.

Les acteurs sont nombreux, entre enseignants, scientifiques, politiques et citoyens. Il y a différentes actions possibles et, dans le cadre de nos sociétés industrielles, on peut certainement mieux faire aux plans de l'éducation, de la prévention et de la gestion. Mais il faut faire attention à bien définir les missions de chacun, et j'ai parfois l'impression que notre société mélange un peu les missions et les gens. Le scientifique doit comprendre, informer, mais ne peut se substituer à des opérationnels pour l'alerte car cette communauté n'a pas la taille critique. Il faut, pour arriver à mieux contrôler les impacts, une société structurée dans un monde coopératif transnational.

Nous avons un triptyque (figure 2) assez évident pour la stratégie de réduction des effets qui comprend l'évalua-



Fig. 2 : Stratégie de réduction des effets. Evaluation, prévention, alerte. D'après F. Schindelé, coordinateur du PTWC, IOC/UNESCO

tion, qui passe par la compréhension, la prévention, qui permet de mettre les dispositifs en place pour réduire les effets, et enfin le système d’alerte, qui va permettre de déclencher les opérations.

Je vous repasse la diapositive que Paul Tapponnier vous a déjà montrée (figure 3, planche V), avec ce fameux trait rouge qui n’est qu’une interprétation, notamment dans la partie ouest, assez spéculative par manque de données au niveau marin, pour vous montrer que, par exemple dans le cas des tsunamis, il est évident que la région méditerranéenne est divisée en au moins trois grands bassins, avec la mer Noire, la partie orientale et la partie occidentale. Cela complique nos tâches d’alerte car plus le bassin est réduit en dimension, plus l’alerte doit être rapide. Dans le cadre de la Méditerranée occidentale (figure 4, planche VI), certaines activités, sismiques notamment, ont déclenché des tsunamis et doivent donc nous permettre une prévention. Il est difficile d’expliquer aux populations qu’on ne peut rien faire en une heure de temps, si nous sommes prévenus par des instruments qu’un tsunami va arriver, par exemple en Algérie, et va frapper la côte française une heure après.

C’est quelque chose qui peut devenir opérationnel et nous identifions bien un besoin sociétal important en regardant simplement les visites de sites Internet, qui montrent que, dès que se produisent des événements majeurs comme ceux du Maroc mentionnés plus tôt, et également celui de Sumatra, la société s’interroge et il nous faut fournir cette information aux populations - qu’on le veuille ou non, c’est notre devoir de scientifiques.

Il nous faut donc des systèmes d’alerte qui soient multirisque (figure 5) et qui nous permettent de réduire les effets des risques. Il existe pour ce faire toute une structure, et nous pouvons et nous devons le faire ; nous ne sommes pas complètement démunis contre les risques naturels.

Réseaux de capteurs pour différents usages :

- Alerte et alerte préventive d’un événement (temps réel)
- Atténuation des effets des catastrophes (à haute portée dynamique)
- Compréhension des catastrophes (observation à larges bandes)

Capacités humaines à faire fonctionner ces réseaux (éducation/ formation)

- structure pyramidale
- implication nationale
- gestion supranationale
- compétence nationale/européenne

Problèmes opérationnels : prise de décision, information diffusion (nationales)

Fig. 5 : Réseau d’alerte multirisque

Un système d’alerte comment ?

Il faut construire sur l’existant. La carte de la figure 6 (planche VI) montre les stations sismologiques connectées en temps réel et vous pouvez constater un déficit plus que majeur : même s’il y a une station en Afrique du Nord (au Maroc), il faudrait renforcer cette collaboration Nord/Sud pour faire en sorte que ces stations d’observations existent.

Bien sûr, il y a un phénomène hiérarchique dans cette prévention et vous pouvez voir (figure 7) qu’il faut une structure au niveau de l’Atlantique, de la mer du Nord, où des astéroïdes ont déclenché des tsunamis assez importants dans le passé, et vous avez également les mentions des différentes parties de la Méditerranée.

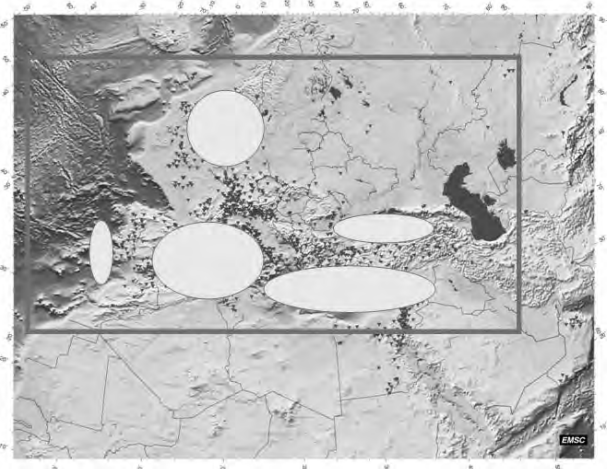


Fig. 7 : Hiérarchie des systèmes d’alerte
 Système multirisque
 Cadre global
 Différents sous-réseaux régionaux (OMWC)
 Réseau global euro-méditerranéen (EMWC)
 Différents capteurs (vibration, pression, sonique/infra-sonique)

Cela doit être organisé et c’est organisable - bien sûr, l’enjeu est plus délicat parce que les temps de réponse doivent être de l’ordre de dix minutes pour les tsunamis -, avec une capacité d’installation qui nous permette, toujours avec ces traits rouges qui sont des traits schématiques (figure 8), de mettre de l’instrumentation, que ce soient des stations sismologiques, des GPS, des marégraphes ou des capteurs fond de mer, de manière à prévenir le risque de tsunami.

Typiquement, les temps de réponse des systèmes d’alarme sont de quelques secondes pour les séismes - on en verra une illustration sur Naples - et de quelques minutes pour les tsunamis. Les glissements de terrain sont l’une de nos très grandes préoccupations localement sur la Côte d’Azur en raison du risque de tsunami associé au glissement - vous avez vu le tsunami associé au séisme et le tsunami associé au volcan.

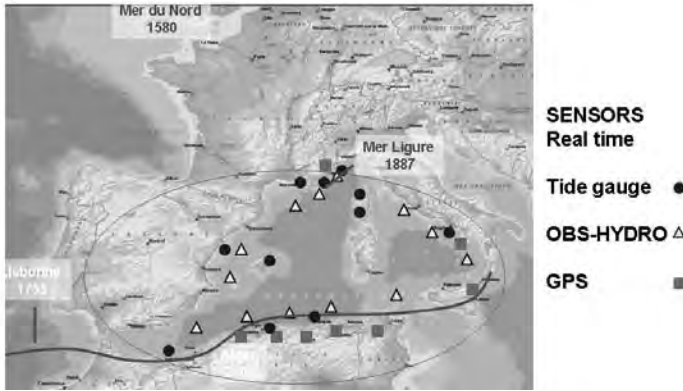
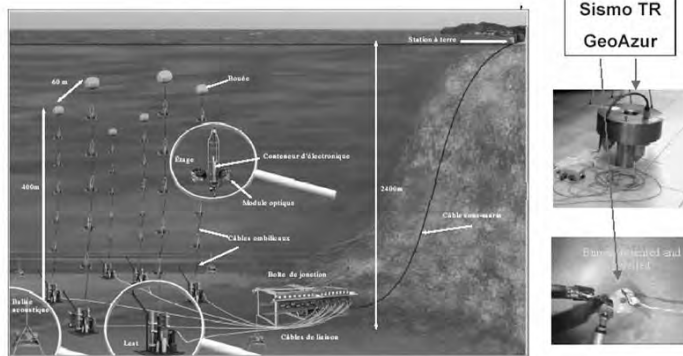


Fig. 8 : OMWN/OMWC (temps de réponse 10 mn)
Ce sous-réseau local pourrait être construit dès à présent

Nous devons donc développer des techniques plus rapides de réponse pour ces tsunamis associés aux glissements de terrain, et vous avez, par exemple, l'installation de capteurs fond de mer accrochés au projet Antares de détection de la matière cachée en cosmologie (figure 9). Ces problèmes nous ont permis d'avoir une boîte de jonction, que vous voyez en bas des pentes, qui permet d'avoir de l'énergie et finalement de transmettre de l'information au fond de l'océan ; un capteur large bande a été installé et permet d'avoir en temps réel, via Toulon et le CPPM, de l'information qui revient sur Sophia-Antipolis.

- Temps de réponse < 2-4 mn
- Analyse multirisque (glissement de terrain, tremblement de terre, tsunami, autres...)
- Diffusion automatique (personnes formées)



L'observatoire ANTARES, un exemple de technologie moderne : capteur sismique à larges bandes en temps réel. Guralp/GeoAzur. IFREMER/ANTARES

Fig. 9 : Système d'alerte local au tsunami

La conclusion (0) que nous pouvons faire est qu'il y a des structures à déclencher. Il a été mentionné ce matin qu'il y avait des initiatives pour les problèmes d'eau, d'associations à structurer. Il est évident qu'il nous faut avoir des organismes de proximité permettant de conserver, d'évaluer et de valoriser le patrimoine environnemental. Ce sont des messages assez sim-

ples mais nécessaires à faire passer, et nous verrons l'exemple sur la région de Campanie tout à l'heure. Les cibles sont typiquement locales, de l'ordre de 20 000 km², avec des échelles temporelles décennales. Les actions sont des évaluations précises pouvant rendre la gestion de l'environnement supportable par nos sociétés.

La conclusion (1) est que l'objet Terre est peu ou pas observé. Mettre un capteur sismologique en fond de mer, c'est bien, mais il n'y en a qu'un seul et il en faudrait plusieurs. Pourtant on sait que nos sociétés sont capables de se mobiliser. Par exemple, les défis concernant l'énergie ont permis la mise en place de moyens importants pour la prospection pétrolière. On peut rappeler que les militaires ont déployé des systèmes d'observation extrêmement performants pour d'autres motifs que les risques de séismes. Tout l'effort de la sismologie du XX^e siècle s'est fondé non pas sur l'analyse des séismes, mais sur les explosions nucléaires, la détection et la différenciation. On peut aussi mentionner les défis alimentaires : si nous avons une météorologie si avancée, c'est parce qu'il faut avoir une bonne agriculture. Je pourrais aussi parler des défis de santé ou des défis de justice - la France dépense beaucoup pour la justice. Il serait important que nos sociétés comprennent qu'elles doivent aussi dépenser beaucoup pour la sécurité des biens et des personnes. Malheureusement l'actualité à la Nouvelle-Orléans nous montre qu'il existe une incompréhension sur ce plan. La croissance de la population mondiale conduit à une plus grande vulnérabilité de nos sociétés et il faut donc mobiliser des moyens pour réduire cette vulnérabilité.

Conclusion (2) : la recommandation de l'*International Oceanic Commission* de l'UNESCO a bien montré que la Méditerranée est une zone où nous devons concentrer un certain nombre d'efforts, notamment pour prévenir les tsunamis, mais aussi les autres risques naturels. La mise sous l'égide de l'INGV comme acteur, comme homme orchestre des différentes initiatives est un premier pas. Dans ce contexte euro-méditerranéen, la Méditerranée occidentale, avec des pays bien identifiés et une certaine communication plus facile à élaborer et à enclencher que dans la partie orientale - qui pose des problèmes politiques beaucoup plus importants - bien que les phénomènes naturels y soient aussi, sinon plus forts, est un excellent chantier où l'on peut essayer de montrer qu'il est possible de réduire les risques. La diversité culturelle sera bénéfique, mais n'empêchera pas cette démonstration. Et comme il a été mentionné pour l'agriculture hier par Vincent Dollé, l'Arc latin, par exemple, qui réunit un ensemble de régions peut servir de creuset pour de telles initiatives.

Questions

Y. Lancelot. –

Il est toujours difficile de faire de la prévention face à quelque chose qui n'arrivera peut-être pas - qui finit toujours par arriver, mais qui n'arrivera peut-être que dans cent ans -, on ne peut pas convaincre la classe politique de le faire. Pour le changement climatique, cela n'a pu se faire que lorsqu'il y a eu une mobilisation massive, quand on a vu des conséquences pour la première fois - conséquences qui démarrent lentement -, et qu'on a eu une motivation portée par la population elle-même. La classe politique est alors obligée de réagir. Comme l'a dit Jean Virieux, tout doit passer à l'heure actuelle par l'éducation des enfants, de l'école à l'université. Toute l'éducation à l'environnement, qui n'a été pendant très longtemps qu'un rêve d'écologiste, est devenue l'un des enjeux majeurs de la planète, car la planète est totalement unique et tout y est en interaction. Il faut donc prendre en main tout de suite une éducation générale aux sciences de la Terre, parce qu'après le changement climatique, c'est l'agriculture, c'est la désertification, c'est l'industrie, c'est toute l'économie. Le message à faire passer est bien un effort énorme au niveau de l'éducation. On a vécu des années où les sciences de la Terre en tant que telles ont connu un déclin considérable, et il faut vraiment remonter la pente en faisant travailler ensemble les gens comme Jean Virieux qui travaille sur l'instrumentation, la prévision, les réseaux sismiques, et les gens qui travaillent sur le climat - pour répondre à sa pierre dans mon jardin !

J. Virieux. –

Ce n'était pas une pierre ! Par exemple, au niveau des climats, on peut avoir une modification des systèmes hydrologiques avec des conséquences sur les risques naturels. J'aime bien non pas la polémique, mais le frottement intellectuel pour affûter les arguments de chaque communauté, et je crois qu'il y a une interaction très importante. Je travaille sur les infrasons dans l'atmosphère et donc je n'ai pas de difficulté à voir les couplages entre les différents milieux naturels.

R. Klapisch. –

Je crois qu'il ne faut pas être trop pessimiste sur l'écho que pourrait avoir ou non quelque chose qui peut effectivement ne pas arriver, mais le fait que ce soit arrivé, comme le tsunami par exemple, mais aussi le fait qu'il y ait des tremblements de terre un peu partout en Méditerranée, montre qu'il est probablement possible de faire proclamer un effort pour l'instrumentation et l'alerte d'une part, et comme vous le dites très justement, pour l'éducation d'autre part. Il est absolument certain, vous l'avez dit, que les gens, vus à la télévision, qui trouvaient très amusant d'aller vers la vague, s'ils avaient su ce que c'était qu'un tsunami, ce que tous les Japonais savent, ne seraient pas morts.

J. Virieux. –

Il est possible, grâce à l'informatique, d'obtenir des mesures de qualité, dans des endroits qui ne sont pas des laboratoires de recherche. Cette démocratisation de la mesure scientifique est donc très importante pour nos sciences à nous et je crois que c'est un message d'espoir au contraire qu'il faut apporter.

R. Klapisch. –

Justement, comme nous sommes chargés par l'OTAN d'émettre des recommandations sur la prévision des risques et en particulier sur ceux-là, je vous demanderai de dresser une page de mesures concrètes qui s'appuient sur cet argumentaire excellent que vous avez donné, et qui pourrait être un des résultats phares de cette rencontre.

Y. Lancelot. –

Un exemple que tout le monde connaît est de comparer le nombre de victimes dans un grand tremblement de terre au Japon avec ce qui se passe dans le reste du monde. L'éducation, les constructions, les plans de prévention, sont appliqués depuis longtemps dans ce pays et tous les enfants japonais savent quoi faire en cas de tremblement de terre : ils vivent avec. Nous, nous ne vivons pas avec. On sait ce qui se passe avec les hommes politiques : vous allez voir à quelle vitesse on va oublier le tsunami d'Indonésie et le cyclone de la Louisiane. Dans 15 ans, s'il n'y a pas d'autres gros cyclones, mais à mon avis il y en aura, on aura oublié. Il faut donc agir maintenant et que des normes soient établies. Ce qui fait le drame de la Louisiane, c'est qu'on a laissé construire dans des zones complètement inondables, qu'on a détruit un delta, qui est, en géologie, un des milieux les plus sensibles qui soient, en interaction entre un fleuve et la mer, avec des particules qui y arrivent. On a été négligent un peu partout. Il n'y a qu'à regarder dans notre jardin, dans les vallées, comme Vaison-la-Romaine, la ville de Nîmes, etc.

J. Virieux. –

Ce n'est pas moi qui dirai le contraire. Les peuples d'Afrique du Nord ont gardé un contact avec leur milieu, qui est actif - le Haut Atlas est en activité sismique. On y a cette connaissance des milieux, cette expérience. Dans les vallées montagneuses de la région niçoise, dont je suis originaire, il y a également une expérience, des messages qui nous viennent de nos anciens et qui nous disent : attention, les vallées sont coupées du littoral, les glissements de terrain existent. Cette expérience existe et il faudrait que toutes les populations aient cette expérience-là. Quand on voit le nombre de gens qui viennent sur la Côte d'Azur, qui n'ont aucune expérience des phénomènes naturels, et qui ne peuvent supporter d'être empêchés d'aller skier dans les stations d'hiver durant le week-end, alors que bien sûr, on sait que la nature est parfois plus difficile.

Y. Lancelot. –

Nous allons prendre quelques questions de la salle.

Un participant. –

Très concrètement, je voudrais savoir à quel âge vous situez la formation ou les classes qui peuvent faire de la sismique : terminale ? première ? Je ne pense pas que ce soit la peine de le faire dès le collège.

J. Virieux. –

Si, cela vaut la peine de le faire. Il y a des phénomènes qui répondent à la notion de description naturaliste et l'on connaît bien l'exemple de la fillette qui avait eu un cours sur les tsunamis en Angleterre et qui a, du coup, réagi fortement lors de la vague et qui a sauvé toute la plage. La compréhension sera différente selon les différents niveaux, mais il existe des initiatives, même au niveau de la maternelle.

On parle du séisme désastreux du Frioul qui a détruit une école parce que le bâtiment était mal consolidé, mais en fait deux écoles ont été détruites et l'on ne parle pas de la deuxième école parce que l'institutrice, qui était mariée à un géophysicien, a eu le réflexe de coller les enfants contre le mur au moment de l'effondrement du toit, qui était une dalle de béton, et grâce à ce comportement extrêmement rapide, une des deux écoles a évité la catastrophe ; l'autre malheureusement a subi un vrai désastre et cela a été un deuil national en Italie.

Je crois qu'il y a des niveaux non seulement pour la population des écoles, mais également pour d'autres populations. Les médias doivent être éduqués ; nous avons de gros problèmes pour avoir des messages significatifs auprès des journalistes. Nous aimerions bien que les journalistes s'éduquent et nous sommes à leur disposition pour faire que l'éducation journalistique scientifique ne soit pas qu'un vain mot.

Il est important d'éduquer les hommes politiques pour qu'ils aient la mémoire moins courte. Il faut qu'ils aient une approche plus scientifique. Le Japon est bien connu pour avoir un Conseil des ministres où, chaque semaine, un scientifique vient exposer des problèmes scientifiques. Je ne connais pas d'équivalent. J'ai participé au Comité 2000 de Jacques Chirac pour dire quels étaient les enjeux scientifiques, et les retombées de ce comité sont insignifiantes. Il est important d'éduquer les différentes populations, les pompiers bien sûr mais je ne vais pas vous énumérer la liste, et à chaque fois, c'est une éducation spécifique. On ne parle pas des phénomènes naturels à un enfant de 8 ans comme on parle à une classe préparatoire, à un bac + 1, des phénomènes de propagation. Nous devons être capables d'avoir des discours très variés suivant l'auditoire auquel nous nous adressons.

Un participant. –

Le P^r Barberi a parlé de la problématique de l'évacuation en cas d'éruption explosive du Vésuve et qu'il ne fallait ni évacuer les gens trop tard puisqu'on a un délai de 5 minutes avant que cela n'atteigne toute la population, ni donner une fausse alerte qui risque d'être économique-

ment catastrophique. Premièrement, je voudrais savoir si on a évalué le coût d'une évacuation de 500 000 personnes. Deuxièmement, y a-t-il eu des simulations d'évacuation ? Je ne pense pas qu'il puisse y avoir de simulation d'une évacuation de 500 000 personnes parce que ce serait très coûteux. Finalement, si l'on se trompait, c'est-à-dire si on évacuait les gens et qu'il n'y ait pas d'éruption, après tout, ce pourrait être une démonstration grandeur nature et réelle, parce que, quand on fait de la simulation, les gens le prennent généralement à la légère.

F. Barberi. –

Le coût est très difficile à estimer et on ne s'en est pas trop préoccupé parce que, selon la loi italienne, le plan d'urgence du Vésuve prévoit une déclaration d'état d'urgence nationale par le Conseil des ministres, ce qui implique automatiquement la modification du projet, même déjà approuvé par le Parlement, et donc la mise à disposition de toutes les ressources nécessaires. D'ailleurs, je pense que ce serait probablement un problème à poser aussi au niveau européen.

Pour ce qui est des exercices d'évacuation, quand j'avais cette responsabilité nationale de protection civile en Italie, j'en ai organisé deux, évidemment avec une fraction limitée de la population car on ne peut évacuer 500 000 personnes pour un exercice. Ils ont concerné environ 1 000 personnes, à partir des écoles, donc avec des enfants et leur famille, qu'on a transportés jusqu'à la région d'accueil de manière à faciliter aussi les relations entre les administrateurs des deux côtés. On va reprendre cette activité, l'année prochaine, avec un exercice d'évacuation un peu plus large qui concernera probablement 30 000 personnes - on ne connaît pas encore le nombre exact. C'est d'ailleurs la protection civile européenne qui organise cet exercice avec la région de Campanie.

L'éducation est, évidemment, absolument fondamentale. Le plan du Vésuve a été approuvé officiellement par le Gouvernement italien quand j'y avais cette responsabilité. J'ai beaucoup réfléchi et je n'ai pas hésité à dire qu'une fausse alarme est toujours préférable au maintien sur la zone de centaines de milliers de personnes au risque de leur vie. La question est d'expliquer aux gens quelles sont les limites de la science, qu'ils sachent qu'on peut se tromper, mais qu'on préfère se tromper en les éloignant de leur maison inutilement plutôt que de les laisser y perdre leur vie.

Une participante. –

Merci pour vos conférences. J'ai une question concernant la prévention sismique et les techniques de mesures pour prévenir les séismes. Avant le séisme, il y a échappement de gaz, en particulier de gaz radioactifs. Existe-t-il des campagnes de mesure de ces gaz et, si oui, quel est le gaz dont le suivi de sa concentration au cours du temps a une importance pour prévenir les risques ?

F. Barberi. –

Il y a plusieurs phénomènes, en principe, qui peuvent précéder ou accompagner le déclenchement d'un tremblement de terre. Il y a des déformations du sol, de la microsismicité, et des variations géochimiques : il y a des variations dans la profondeur, dans la pression des nappes d'eau et, parmi ces phénomènes, l'augmentation du flux des émissions de gaz, comme l'anhydride carbonique, l'hydrogène et même du gaz d'origine radioactive, essentiellement le radon et l'hélium. Le problème est qu'il y a un certain nombre d'exemples où l'on a rapporté des anomalies géochimiques de concentration de certains éléments, par exemple de ces gaz dans des eaux, d'émis-

sion de ces gaz par le sol, mais la majeure partie de ces observations sont des observations à posteriori c'est-à-dire après le phénomène. Mais il n'y a pas beaucoup d'eaux dans le monde qui soient continuellement observées, donc on ne peut pas dire qu'on ait de statistiques sérieuses sur le phénomène, et l'on ne sait pas combien de fois une anomalie est observée sans association avec un tremblement de terre. Dans ces conditions, je pense que la probabilité d'une fausse alarme serait énorme. C'est un domaine de recherche intéressant et important à étudier, mais je n'en vois pas d'utilisation immédiate. Ce n'est pas, dans l'immédiat, avec ce type de méthodes qu'on va sauver des gens.

Agences locales et systèmes d'alerte en Campanie¹

Paolo Gasparini

Universita degli Studi, Naples
(remplacé par Franco Barberi)

Je vais me substituer à mon collègue Paolo Gasparini qui n'a pu se joindre à nous. Paolo Gasparini est directeur, président, coordinateur, animateur, de l'AMRA, qui est une structure scientifique qui vient d'être fondée dans la région de Naples. Ce n'est pas un institut de recherche mais une structure de coordination et d'animation de l'activité scientifique. Toutes les universités de la région autour de Naples, toutes les structures scientifiques au plan national y participent, et le but est de promouvoir la recherche scientifique. Il existe plusieurs initiatives de ce type. L'AMRA s'occupe des risques naturels et des problèmes liés à l'environnement. Parmi ses multiples activités, on trouve le risque sismique, le risque lié à l'activité humaine et géologique, le risque volcanique, et tous les risques naturels.

Parmi les projets en cours qui nous intéressent, l'un concerne les risques sismiques et est financé par la région de Campanie, qui est le département administratif autour de Naples. Vous savez que, malheureusement, on n'a pas la capacité scientifique de prévoir les tremblements de terre. On ne sait pas reconnaître les symptômes qui annoncent qu'un tremblement de terre est imminent.

Un système d'alerte préventive (*early warning system*) est un système qui se base sur les propriétés des ondes sismiques. Avec un sismographe, la première onde sismique enregistrée s'appelle «P». C'est l'onde qui a la vitesse la plus grande, mais cette vibration de l'onde P n'est pas celle qui produit des dommages. Les dommages sont dus

essentiellement aux ondes suivantes, les ondes S, qui provoquent des dommages dans les bâtiments, et qui sont moins rapides. Chaque sismographe enregistre d'abord les ondes P, mais au moment où il y a la vibration des ondes P, il n'y a pas encore de dommages. Les dommages arriveront avec un retard qui dépend de la distance à laquelle on se trouve de la source, de l'origine du tremblement de terre. Plus on est loin, plus la différence temporelle entre l'arrivée des première et seconde ondes sismiques sera grande. Donc le système d'alerte préventive est basé sur ce retard.

La Campanie, dans le sud de l'Italie, est une région où la sismicité est assez importante. De plus, beaucoup de bâtiments n'ont pas été construits selon les normes parasismiques. La vulnérabilité sismique y est donc très élevée. Le résultat est que des tremblements de terre, même de magnitude relativement modérée, autour de 7, sont catastrophiques, avec beaucoup de destructions. La zone sismique principale est située dans l'Apennin ; il y a aussi de la sismicité liée aux deux volcans actifs que sont le Vésuve et les champs Phlégréens, mais beaucoup plus faible. Les grandes villes se situent le long de la côte, Naples en particulier, et Salerne, qui est une autre grande ville. Les destructions concernent principalement les vil-

¹ Transcription de l'exposé en français.

lages, les petites villes, à l'intérieur mais surtout le long de la côte. Benevento, par exemple, se situe vraiment tout près de la zone sismique et le retard sismique est trop court pour pouvoir bâtir un système d'alerte.

Le projet en cours de réalisation (figure 1) prévoit une augmentation du réseau sismique et du réseau accélérométrique. Vous voyez ces signaux dans ce triangle, et la distribution du nouveau modèle de réseau sismique avec télétransmission à un centre d'élaboration automatique.

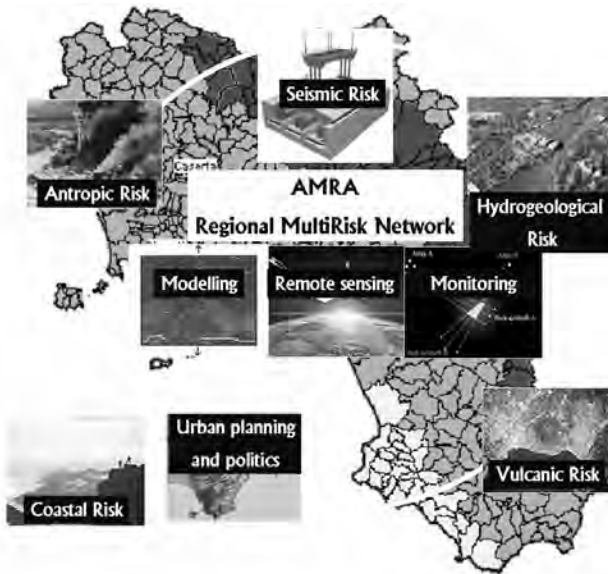


Fig. 1

Le problème est de pouvoir utiliser le retard dans l'arrivée des ondes et pour ce faire, il faut traiter les données sismiques instantanément, avec le maximum de vitesse. Sur la figure 2 (planche VI) vous voyez une simulation : le temps nécessaire pour traiter l'enregistrement d'une seule station, c'est-à-dire détecter le séisme et estimer sa magnitude, est de l'ordre d'une seconde et demie. Traiter les données de dix stations demande trois secondes et demie. Et évidemment, on doit traiter toutes les données.

Compte tenu de la distance de Naples, la ville la plus importante de Campanie, à la zone sismique, on estime qu'après trois secondes et demie, qui est le temps nécessaire pour l'élaboration immédiate automatique des données, il reste 10 à 12 secondes avant l'arrivée de la secousse qui va causer la destruction (figure 3).

En 10 secondes, 20 secondes au maximum, on peut faire beaucoup de choses. On peut avoir, par exemple, des signaux automatiques qui vont interrompre la circulation du métro, des feux rouges qui s'allument avant un tunnel ou un pont dangereux, des systèmes qui déclenchent automatiquement des plans d'urgence dans les hôpitaux. Il y a toute une série de possibilités comme l'interruption de la distribution du gaz, de l'électricité pour empêcher les incendies.

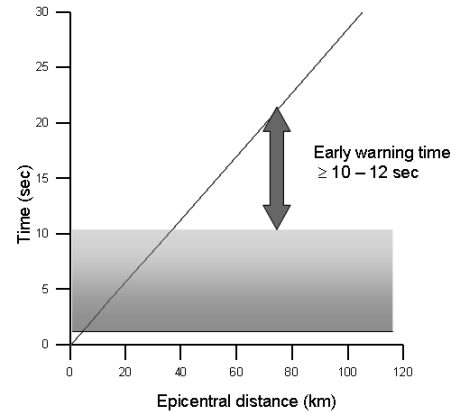


Fig. 3. Temps d'alerte préventive pour la ville de Naples

Des systèmes de ce type sont déjà expérimentés au Japon, au Mexique et, je crois, en Turquie, où l'on est en train d'étudier la possibilité d'applications. Au Japon, les métros et les trains à grande vitesse s'arrêtent toujours après un tremblement de terre, mais pas avant car avant que la secousse n'arrive au point où le train s'arrête, le tremblement de terre a déjà eu lieu. En principe, il y a toute une série d'applications potentielles forcément automatiques. Mais une fois encore, convaincre et éduquer la population est essentiel.

Je veux mentionner une dernière chose. Ce même projet comprend - et ce n'est plus une alerte préventive mais quelque chose de différent et de très utile -, la construction automatique en temps semi-réel d'un réseau d'accéléromètres. En quelques minutes (100 à 200 secondes), on va avoir une distribution de l'accélération du sol, donc on va savoir quelle est la vibration effective réelle mesurée dans les différentes régions. Avec une banque de données contenant les informations sur la vulnérabilité des édifices, des ponts, des tunnels, on va obtenir assez rapidement une projection de scénario des dommages, ce qui peut permettre de fournir des secours ciblés sur les besoins du territoire.

Je ferai un commentaire. La Campanie n'est sûrement pas la région la plus riche d'Italie. Vous avez vu des exemples d'investissements dans le réseau sismique avec une finalité sociale très claire qui est d'essayer de protéger la vie des personnes. Je vous ai parlé des investissements pour réduire le risque du Vésuve, qui en sont une démonstration. La Campanie est une région où il y a beaucoup de chômage, beaucoup de problèmes économiques. Mais il y a quelquefois des administrateurs, des politiciens qui comprennent que leur fonction n'est pas seulement de recueillir les vœux pour la prochaine élection, mais aussi d'essayer de construire, dans l'intérêt de leurs citoyens, un pays avec un futur un peu plus sûr et acceptable. Je suis vraiment content de pouvoir dire que c'est le cas en Campanie depuis quelques années, et qu'il y a six mois, les administrateurs de la Campanie ont été tous reconfirmés dans leurs fonctions par le vote populaire avec plus de voix que lors des élections précédentes.

Exemple de coopération franco-marocaine : étude du séisme et du tsunami de 1755¹

Marc-André Gutscher

Université de Bretagne occidentale

Le 1^{er} novembre 1755, un séisme d'une magnitude estimée entre 8,5 et 9,0 a fait environ 60 000 victimes dans la région sud-ibérique. Connu sous le nom de séisme de Lisbonne, il a pourtant produit des dégâts importants dans le nord du Maroc. Il a été ressenti jusqu'à Hambourg et jusqu'aux îles des Açores. Le tsunami qui a suivi a détruit les ports du golfe de Cadix avec des vagues d'environ 5 à 15 m. La source exacte du séisme et du tsunami demeure incertaine à ce jour.

Cependant, une zone de subduction voisine, sous le golfe de Cadix (à pendage vers l'Est), présente un candidat potentiel très sérieux. La vaste majorité des séismes de magnitude égale ou supérieure à 8,5 du dernier siècle, (12 sur 14) se sont produits dans des zones de subduction, comme les séismes de Sumatra en 2004 (magnitude 9,3) et 2005 (magnitude 8,7) ou du Chili en 1960 (magnitude 9,5) et de l'Alaska en 1964 (magnitude 9,2).

Pour mieux comprendre la tectonique de la région sud-ibérique, de nombreuses campagnes océanographiques ont eu lieu. Les objectifs de ces campagnes étaient

d'imager la déformation au fond de la mer, et la structure profonde (par des profils sismiques) afin d'identifier les failles actives qui posent un risque sismique et qui auraient pu jouer en 1755. Cette thématique de recherche fait l'objet d'une collaboration entre l'université de Brest et l'université d'El Jadida et entrent dans le cadre de futures collaborations aussi avec l'université de Rabat.

La recherche de la source du séisme et du tsunami de 1755 a stimulé un effort de recherche majeur sur le plan international dans le cadre du programme EuroMargins de la ESF (*European Science Foundation*) auquel participe le Maroc. Elle a aussi stimulé une demande de forage IODP (*Integrated Ocean Drilling Program*). Nous pouvons espérer que les résultats de ces récentes et futures recherches nous permettront de mieux déterminer où et quand de tels phénomènes risquent de se reproduire.

¹ Texte original en français.

Autre contribution

Risques naturels en Turquie

Cenk Yaltirak, université technique d'Istanbul

Conclusions¹

Robert Klapisch

Président d'honneur de l'AFAS, directeur de recherche émérite au CNRS

A l'issue de trois journées très denses, fatigantes, frustrantes - car beaucoup de sujets auraient mérité un colloque entier - il est hors de question de résumer ou paraphraser toutes les interventions et je voudrais donc me limiter à des remarques à caractère général.

La création d'une zone euro-méditerranéenne a été l'objectif - depuis Barcelone en 1992 - d'une série de rencontres intergouvernementales au niveau des ministres ou des chefs d'Etat. Ceci est tout à fait justifié eu égard à l'importance des enjeux. Nous croyons cependant que cette approche intergouvernementale n'est pas suffisante par elle-même et qu'une authentique construction euro-méditerranéenne ne sera possible qu'à travers l'implication profonde des acteurs de la société civile. Cela signifie l'intervention d'individus comme d'organisations qui deviennent partie prenante d'accords dans tous les secteurs d'activité (commerce, industrie, tourisme) mais aussi - et c'est évidemment ce qui nous concerne plus particulièrement - d'accords entre membres des communautés scientifiques qui poursuivent des buts communs.

Dans cet esprit, j'aimerais revenir sur une phrase qui m'a frappé dans l'exposé de M. Bingen. Il s'est en effet référé à un processus en marche (certains diront qu'il est encore insuffisant) pour remplacer la notion d'assistance, d'aide, par la notion de «partenariat». Etre partenaire ne signifie pas que du jour au lendemain, on devient un partenaire égal. Bien sûr l'inégalité subsiste, mais il y a par contre une égalité de dignité et de droits.

J'illustre ceci par des exemples.

Etre partenaire, même dans un état (provisoire en tout cas) d'inégalité, implique un effort pour s'améliorer et je reviens sur le concept d'évaluation introduit par J.-P. Bourguignon : un mécanisme est nécessaire pour vous faire prendre conscience de ce qui ne va pas. Dans la discussion, un des collègues a souhaité que cette évaluation soit amicale, bienveillante. Ce n'est pas cela qu'il faut : si vous allez voir un médecin et qu'il vous dise de ne pas fumer, à vous de décider, vous êtes souverain, mais vous devez avoir un diagnostic franc et sans complaisance. C'est une des caractéristiques du partenariat : avoir un diagnostic qui permette d'avancer, ce qui, dans beaucoup de cas, s'est déjà produit.

L'autre domaine, et nous avons eu là-dessus une table ronde très intéressante, est que le progrès est impossible si les femmes, la moitié de la population, ne sont pas complètement intégrées dans la production scientifique. Sans rentrer dans le détail, nous savons qu'il y a des disparités réelles dans le recrutement, les promotions.

Nous savons aussi tout l'avantage qu'il y a à prendre des femmes scientifiques ayant réussi comme modèles pour inciter des jeunes filles à étudier les matières scientifiques.

Le partenariat suppose l'existence de structures (sinon avec qui discuter s'il n'y a que des individus ?).

J'ai constaté que dans beaucoup d'exposés, ces structures interviennent («nous avons signé un accord, un protocole, etc.»), que ce soit au niveau des ministères ou des institutions, ce qui prouve déjà qu'il y a un partenariat qui avance et s'affirme. Ceci a conduit par exemple à un accord entre le Maroc et l'IN2P3 pour les expériences de physique des particules au CERN. Mais aussi à l'intérieur même de ces pays, nous avons appris depuis deux jours l'existence et l'activité d'une Société de dessalement au Maroc et d'une toute récente qui vient de se créer en Tunisie. Le fait de conclure des accords avec les autres nous pousse donc à nous organiser nous-mêmes. C'est ce qui s'est passé pour la physique des hautes énergies, pour l'eau, etc. Ce processus est en marche et, dans les secteurs où il est moins avancé, il faut réfléchir aux raisons.

Après ces considérations générales sur ces structures, je voudrais regarder ce qui existe déjà dans le monde en développement, en ce qui concerne les institutions qui réussissent. Lorsqu'on m'a interrogé à la télévision à ce sujet, mon interlocutrice était étonnée qu'il existe de telles choses qui marchent au Maroc.

Il existe des centres d'excellence mondiale dans les pays du Sud. J'en citerai deux : le célèbre ICTP de Trieste, et vous avez entendu un exposé tout à fait convaincant de son directeur, le P^r Sreenivasan. Le deuxième, c'est la bibliothèque d'Alexandrie, et l'exposé de M. Nagi a bien montré toute la puissance de cette bibliothèque numérique. Bien sûr, elle bénéficie de tout l'apport des technologies développées au Etats-Unis, mais, partant de là, elle apporte un progrès incontestable à la culture scientifique mondiale. Qui d'autre pourrait se charger de numériser des manuscrits arabes anciens ?

Autre exemple de centre d'excellence au niveau mondial (mais qui se construit), c'est SESAME. Exemple d'un centre qui, avec l'aide de l'Allemagne, de l'Union européenne et d'autres, va devenir un centre important pour les pays de la région.

¹ Texte original en français.

Et au Maroc ? Deux exemples positifs et un qui l'est un peu moins.

Tout d'abord celui d'une collaboration avec le CERN au plan international, et j'aimerais réfléchir à la genèse de cela, qui comporte plusieurs stades. A l'origine, des personnes partent en France pour faire des études, y passent une thèse, continuent ensuite à travailler au sein du groupe français, et petit à petit deviennent autonomes, rassemblent un groupement avec d'autres collègues marocains et deviennent officiellement membres de cette collaboration internationale. C'est par exemple la trajectoire d'Abdeslam Houmada, co-directeur avec moi de cette rencontre.

Même chose pour le dessalement de l'eau de mer. Azzeddine Elmidaoui a passé de nombreuses années comme chercheur au CNRS à Montpellier. Il revient au Maroc et fonde un groupe qui contribue de façon indépendante à de nombreux projets. Ceci est très important, car, dans ce domaine du dessalement de l'eau de mer, au Maroc, en Tunisie, il existe depuis longtemps des groupes de chercheurs qui travaillent, publient, participent à des congrès internationaux. Il s'ensuit qu'une expertise locale existe qui sera disponible lorsque le moment viendra de prendre à bon escient des décisions importantes pour l'équipement du pays. Je discutais de ce point avec notre collègue algérien : d'une part, j'ai beaucoup d'admiration pour l'ambitieux programme qu'a lancé l'Algérie, mais il faut bien admettre que ce programme est né dans l'urgence et que donc, on achète des usines clés en main ; c'est ensuite seulement qu'il va falloir lancer un programme de formation de cadres techniques compétents. Or ces technologies de membranes sont fort délicates, il peut y avoir des catastrophes (il y en a eu dans plusieurs pays). La construction d'équipements importants pour répondre à des besoins nationaux ne peut être menée à bien qu'avec le concours d'entreprises importantes, en général multinationales. Mais ceci demande aussi des experts nationaux qui puissent discuter, pas seulement des aspects économiques et financiers, mais aussi de l'impact écologique, de la maintenance et du contrôle des équipements, etc. Ce sont des technologies complexes et ceci doit être préparé à l'avance par la formation de cadres compétents à tous les niveaux.

Ceci pour les deux aspects positifs. Par contre, pour SESAME, je dois dire que j'ai été un peu déçu car nous avons eu un exposé de quelqu'un de très compétent de la communauté de physique des solides qui nous a expliqué tout ce qu'il comptait faire avec la diffraction neutronique en exploitant une installation située en France. Mais apparemment, pour SESAME (comme je lui ai fait remarquer au cours de la discussion), il attend que le Maroc en devienne officiellement membre. Il ne faut pas attendre ! SESAME va marcher en 2009, mais c'est maintenant qu'il faut commencer à réfléchir, à constituer un groupe et à préparer de l'instrumentation pour aller là-bas. Les chercheurs de la région, M. Schopper l'a dit, sont chez eux à SESAME, que leur pays en soit membre ou pas. Il vaut

mieux être membre car on a davantage de possibilité d'influencer les décisions prises dans les conseils.

J'ai cité deux exemples (que je connais car ils ont été mentionnés à cette conférence), mais il y en a certainement d'autres pour dire qu'il ne faut pas hésiter à profiter des opportunités que nous offre le contexte international.

Passons aux outils et aux besoins vitaux : eau, énergie, nourriture.

L'Internet est maintenant devenu un outil incontournable et chacun comprend l'importance de pouvoir ainsi communiquer avec ses pairs. A Marseille en 2002, nos collègues marocains se plaignaient de ce qu'ils ne disposaient que de lignes téléphoniques ordinaires et de modems à 24 ko pour transmettre de gros fichiers. Depuis, la vitesse a été multipliée par 100 comme le remarquait Guy Wormser. L'étape suivante, c'est la grille de calcul. Dès que nous allons aborder des problèmes dont Ken Peach et d'autres intervenants nous ont parlé, on a besoin de cet outil qui transforme tout. Pour prendre l'exemple des mesures d'urgence pour la prévention des catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre, il faut avoir ces outils pour faire face. Or, il se trouve que ces outils sont, en plus, d'un prix abordable. Virieux nous a parlé d'avoir un grand nombre de détecteurs, il faut les relier ensemble et donc avoir les outils pour cela. Un aspect qui pourrait entrer dans nos recommandations est le suivant : travailler en commun sur les problèmes de l'Internet a un aspect structurant. Et je dois vous dire à ce propos qu'une des remarques critiques que je ferai est que nous sommes frappés, nous les gens du Nord, de voir qu'il y a finalement assez peu de contacts scientifiques entre les trois pays du Maghreb. Je pense qu'avoir des projets communs inciterait certainement à travailler ensemble. Nous devons réfléchir à des recommandations et je voudrais faire quelques suggestions à ce sujet. Abdeslam Houmada nous a expliqué comment un réseau de fibre optique privé a pu être réalisé à peu de frais entre Pasadena en Californie et Sao Paulo au Brésil. Pourquoi alors ne pas lancer un projet de fibre qui relierait disons la Mauritanie à l'Egypte ? Ce serait un objectif mobilisateur et je pense que cette proposition pourrait rencontrer un écho chez les décideurs politiques.

Sur le plan plus intellectuel, nous pourrions attirer l'attention sur le potentiel du CERN pour la formation de jeunes aussi bien à la physique des particules qu'à ses applications et qu'il serait dommage que les pays d'Afrique du Nord ne profitent pas de ces possibilités. Nous avons donc pensé à un *workshop* trans-Maghreb de physiciens des particules à proposer. Etienne Guyon m'a également parlé d'un projet entre la Société française de physique et les collègues marocains de réunir en 2007 un colloque, peut être à Oujda, pour réfléchir aux réformes de l'enseignement supérieur (le projet LMD).

Passons aux besoins vitaux : énergie, eau et nourriture. Un facteur évoqué dans plusieurs des exposés, c'est la démographie. Lorsque vous avez une ressource fixe, comme l'eau, si le nombre d'ayant-droits augmente, la

ressource par personne diminue et c'est donc un problème qu'on ne peut évacuer et auquel il faut faire face. Certes une transition démographique est en cours, mais elle prendra une vingtaine d'années. Pour l'énergie électrique, il faut y rajouter le fait que la consommation individuelle doit très légitimement augmenter pour profiter de toutes les conquêtes de la vie moderne.

Pour la nourriture, c'est encore plus compliqué : en effet, outre l'augmentation de la population, il y a le fait (comme l'ont remarqué Dollé et Akesbi), que les rendements agricoles sont inférieurs d'un facteur 10 à ce qu'ils sont par exemple en Europe. La réponse à cela n'est pas évidente du tout et il faut savoir gré à Akesbi d'avoir montré que la réponse officielle (un marché unique de libre-échange) crée en fait des problèmes supplémentaires par rapport à ce qui existe. Comme la population augmente, les pays du Maghreb ne sont plus autosuffisants, ils doivent importer une grande partie de leur nourriture et je me suis laissé dire que l'Algérie n'est autosuffisante qu'à 4 % (elle importe 96 % de sa nourriture). La situation est moins grave en Tunisie et au Maroc, mais il est clair que l'augmentation de la population diminuera encore l'autosuffisance. On n'est pas forcé d'être autosuffisant, mais il faut pour cela avoir de l'argent. Le problème devient compliqué parce qu'à cause de cette zone de libre-échange, Akesbi nous a montré que les dés sont pipés en raison d'un accord déjà signé (dont on n'avait peut-être pas compris toutes les implications) entre le Maroc et les Etats-Unis pour prendre effet en 2020. Cet accord interdit pratiquement de mettre sur pied un accord avec l'Europe. Nous n'avons certes pas trouvé de solution à cette situation compliquée, mais du moins nous avons posé des problèmes qui vont contre les hypothèses optimistes élaborées à Barcelone en 1992.

Les problèmes de population et de la mutation inévitable d'un certain nombre de métiers ne trouveront leur solution (à part l'émigration et la pauvreté urbaine) que par une transformation vers ce qu'on appelle l'économie de la connaissance, difficile à concevoir dans une société qui compte 60 % d'illettrés

Il est donc urgent - et ceci nous dépasse - d'améliorer l'accès aux connaissances de base d'une bonne partie de la population, et un particulier des femmes, pour lesquelles le problème est encore plus brûlant.

Enfin, il y a la question des technologies nécessaires. Nous avons eu des exposés brillants, en particulier celui de Carlo Rubbia.

Je vous rappelle, tout ceci est bien connu et n'est pas spécifique aux pays du Sud, que les combustibles fossiles

posent problème parce qu'il s'épuiseront tôt ou tard, mais aussi parce qu'ils amènent un changement climatique par l'émission de CO₂. Il est tout à fait possible que l'utilisation du pétrole s'arrête parce qu'on en aura compris les méfaits. Rubbia nous a parlé de ses idées sur la nouvelle énergie nucléaire et surtout sur la nouvelle énergie solaire. Il insiste sur la nécessité d'un programme de recherche ambitieux pour mener ceci à bien. Je dois dire que j'ai été très frappé par l'exposé sur l'énergie éolienne de Driss Zejli. Je dois avouer que je ne suis pas un fanatique de l'énergie éolienne, mais ce jeune chercheur nous a signalé qu'au sud du Maroc, dans une région très peu peuplée, les vents très constants (les alizés) rendent cette énergie très compétitive et pourraient même (moyennant d'énormes investissements) produire assez d'énergie pour satisfaire aux besoins de l'Europe. Proposition hardie (certainement à discuter), mais je pense qu'il est excellent que des jeunes au Maroc lancent de tels projets ambitieux au lieu de se contenter de répéter les arguments entendus en Allemagne et au Danemark.

Pour l'eau, les technologies de dessalement sont maintenant bien maîtrisées, mais ce que j'observe dans cette communauté, c'est que non seulement on veut dessaler l'eau de mer, mais on prend conscience de ce que, une fois obtenue de l'eau douce qui coûte assez cher, l'envoyer à la mer au lieu de la recycler ne se comprend pas (ne serait-ce que pour des raisons sanitaires) et que les technologies pour cela existent et vont s'affiner.

Sur les catastrophes, on nous a donné beaucoup de matériaux importants et le fait qu'on ne connaisse pas la cartographie des failles de l'écorce terrestre dans cette région est une chose à laquelle il faut remédier. Ce que nous a montré Franco Barberi est la nécessité absolue de plans d'urgence dans certaines régions (et la région du Vésuve est certainement exemplaire à cet égard). Mais je crois aussi que la question de l'instrumentation est absolument incontournable. Comme le disait Virieux, il ne faut pas dire aux gens : «ça ne se produira peut-être pas avant 200 ans», mais leur dire : «regardez ce qui vient de se passer en Asie» afin d'obtenir des pouvoirs publics l'équipement nécessaire. En outre il est essentiel d'entreprendre un effort d'éducation en profondeur et on doit savoir gré à Virieux d'avoir rappelé que cet effort d'éducation commence à l'école maternelle et non en attendant l'université.

Les recommandations issues de cette rencontre seront mises en forme et dûment communiquées à l'OTAN. On les trouvera en annexe (p. 142).

Recommandations¹

Recommandation 1

Sur la prévention des catastrophes sismiques et volcaniques

Initier au sein de la Commission européenne des programmes euro-méditerranéens de recherche sur le terrain encourageant la participation coordonnée des communautés scientifiques du Nord et du Sud.

Conseiller les gouvernements concernés sur la nécessité (et les bénéfices) de l'application de normes parasismiques pour les bâtiments et les divers aménagements urbains dans les zones à haut risque. Cela pourrait se faire par le biais de conférences euro-méditerranéennes spécifiques.

Multiplier les systèmes d'alerte sismique préventive normalisés dans les zones encore mal équipées et les relier entre eux par l'Internet. Prendre les mesures nécessaires afin que les données puissent être traitées en ligne grâce aux grilles de calcul (*grid computing*). Former les personnels d'assistance technique adaptés.

Etudier en détail les systèmes d'alerte préventive existants (en suivant l'exemple de l'Italie) et les adapter aux différentes zones à haut risque. Etudier à la fois les aspects techniques et sociétaux.

Encourager une simple éducation de base et pratique au risque, dans les écoles et les communautés, avec un fort investissement des enseignants au quotidien.

Recommandation 2

Assurer la sécurité alimentaire et la sécurité des aliments dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée

Il apparaît nécessaire de promouvoir une zone économique euro-méditerranéenne véritablement commune qui permettrait un accès réciproque effectif aux marchés et protégerait et soutiendrait les productions locales en cherchant la complémentarité dans les types de produits et les dates de mise à disposition sur le marché entre l'Union européenne et les pays méditerranéens. Cela devrait se traduire par de meilleures relations et de meilleurs accords entre organisations professionnelles du Nord et du Sud.

Conformément à la déclaration de Tarragone (Forum des universités méditerranéennes, 2-3 juin 2005), un soutien devrait être apporté à la création d'un cadre européen de la recherche et de l'enseignement supérieur, qui se mette d'urgence au service des besoins de l'agriculture et de l'industrie alimentaire.

Il est obligatoire de donner la priorité à un large programme de recherche en coopération pour une agriculture

durable, capable de prendre en compte les contraintes écologiques à travers les avancées de la science. Cela permettrait le développement de l'agriculture traditionnelle et réconcilierait la compétitivité de l'agriculture moderne avec les exigences environnementales et sanitaires.

Recommandation 3

Construction d'une ligne de communication à fibre optique dédiée à la recherche et à l'éducation à travers l'Afrique du Nord

Une connexion Internet large bande est désormais indispensable à quiconque veut mener une recherche en coopération internationale. Le projet EUMETGRID, une excroissance du réseau européen de recherche et d'éducation GEANT, est une première étape notable pour permettre aux chercheurs des pays du sud de la Méditerranée d'être en relation avec leurs pairs du Nord.

Compte tenu de la probable augmentation de la demande de largeur de bande et des avantages d'une coopération accrue entre les pays du Maghreb, particulièrement dans les domaines tels que la climatologie et la prévention des catastrophes, nous préconisons que les scientifiques de tous les pays nord-africains (du Maroc à l'Égypte) se réunissent pour établir une proposition commune de ligne de fibres propriétaire dédiée reliant tous les pays. L'exemple de la connexion entre le California Institute of Technology et l'université de Sao Paolo montre que cela peut se faire en utilisant des moyens très modestes et le travail bénévole d'étudiants.

Recommandation 4

Exploiter les opportunités des projets internationaux

Le CERN, le laboratoire européen de physique des particules, a maintenant ouvert son programme aux chercheurs des États non membres dans le monde entier. Ces cinq dernières années, la direction du CERN a fait un effort déterminé pour attirer des groupes de la région du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, et des physiciens du Maroc, d'Inde, du Pakistan et d'Iran prennent désormais une part active dans la préparation du programme expérimental du futur LHC (*Large Hadron Collider* ou grand collisionneur de hadrons). Des physiciens d'Égypte et des Emirats Arabes Unis examinent actuellement la possibi-

¹ Traduction du texte original en anglais.

lité de s'y joindre. C'est une opportunité très avantageuse et rentable que de participer à une recherche fondamentale de premier plan et de former des jeunes gens à des technologies avancées qui pourront ensuite être appliquées à d'autres types de recherches.

Il serait souhaitable d'amener les groupes universitaires en Afrique du Nord à prendre conscience des possibilités qui existent et des avantages que leurs pays auraient à participer à ce programme.

Nous préconisons donc que des chercheurs du Maroc et d'Égypte réunissent (avec l'aide du CERN et d'autres agences intéressées) un atelier ouvert à tous les pays d'Afrique du Nord pour examiner les modalités d'un effort commun dans cette direction.

La future source de lumière SESAME, laboratoire international basé en Jordanie et qui sera mis en service en 2009, constitue un autre effort international. Neuf pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord sont déjà

membres de cet organisme international, avec le Maroc - qui était l'un des fondateurs -, actuellement observateur et qui devrait rejoindre SESAME prochainement. Comme la lumière et les rayons X sont des outils universels pour un large éventail de recherches en sciences physiques, de la vie et de la Terre, il semble que cela devrait intéresser tous les pays de la région, particulièrement l'Algérie et la Tunisie, mais aussi la Mauritanie et la Libye. Nous préconisons donc que les physiciens d'Égypte et du Maroc invitent leurs collègues de la région (avec l'aide du groupe des utilisateurs de SESAME) à organiser un atelier pour inciter leurs collègues d'autres pays nord-africains à se joindre à ce projet régional fédérateur.

Compte tenu des synergies entre ces deux projets internationaux, nous pensons qu'il serait avantageux de combiner les ateliers sur la participation au CERN et sur la participation à SESAME.
