

Instrumentation et caractérisation pour l'étude des dépôts sédimentaires dans les grottes

Laurent Morel, Stéphane Jaillet, Vincent Lignier, Richard Maire

Résumé

Dans le cadre des changements environnementaux, les études sur les milieux naturels sont des enjeux stratégiques pour la recherche scientifique. Cette recherche s'appuie sur une instrumentation autonome et adaptée à des problématiques spécifiques. Elle est orientée sur la mesure de phénomènes non-continus, fortement non-linéaires, lié à des effets de seuils et de stockage. Cette étude s'inscrit dans ce contexte, en domaine karstique souterrain, considéré comme un enregistreur performant de l'évolution de l'environnement car situé à l'abri de l'érosion. Les accumulations sédimentaires (détritiques ou carbonatées), enregistrent ces évolutions et sont utilisées en paléoclimatologie par exemple.

Abstract

The environmental issues are a strategic stake for the management of the planet. Our project falls under this context, at the interface man/ environment, by the means of the underground karstic field which is regarded as a recorder of environment evolution because located safe from erosion. Caves conceal detrital rhythmic deposits, still little studied, but very interesting from an environmental point of view.

Citer ce document / Cite this document :

Morel Laurent, Jaillet Stéphane, Lignier Vincent, Maire Richard. Instrumentation et caractérisation pour l'étude des dépôts sédimentaires dans les grottes. In: Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 19, 2017. Monitoring en milieux naturels. Retours d'expériences en terrains difficiles. pp. 243-248;

doi : <https://doi.org/10.3406/edyte.2017.1389>

https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2017_num_19_1_1389

Fichier pdf généré le 22/04/2020

INSTRUMENTATION ET CARACTÉRISATION POUR L'ÉTUDE DES DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES DANS LES GROTTES

INSTRUMENTATION AND CHARACTERIZATION FOR THE STUDY OF SEDIMENTARY DEPOSITS IN CAVES

LAURENT MOREL¹, STÉPHANE JAILLET², VINCENT LIGNIER² ET RICHARD MAIRE³

¹ CNRS, Univ. Lyon, UCB Lyon1, Lab Ampere, UMR5005, 69622 Villeurbanne.

² CNRS, Univ de Savoie, Lab EDYTEM, UMR 5204, 73376 Le Bourget du Lac cedex.

³ CNRS, Univ de Bordeaux, Passages, UMR 5185, 33607 PESSAC.

Contact : laurent.morel@univ-lyon1.fr

RÉSUMÉ

Dans le cadre des changements environnementaux, les études sur les milieux naturels sont des enjeux stratégiques pour la recherche scientifique. Cette recherche s'appuie sur une instrumentation autonome et adaptée à des problématiques spécifiques. Elle est orientée sur la mesure de phénomènes non-continus, fortement non-linéaires, lié à des effets de seuils et de stockage. Cette étude s'inscrit dans ce contexte, en domaine karstique souterrain, considéré comme un enregistreur performant de l'évolution de l'environnement car situé à l'abri de l'érosion. Les accumulations sédimentaires (détritiques ou carbonatées), enregistrent ces évolutions et sont utilisées en paléoclimatologie par exemple.

MOTS-CLÉS : DÉPÔTS DÉTRITIQUES, ENREGISTREUR, GROTTES KARSTIQUES.

ABSTRACT

The environmental issues are a strategic stake for the management of the planet. Our project falls under this context, at the interface man/environment, by the means of the underground karstic field which is regarded as a recorder of environment evolution because located safe from erosion. Caves conceal detrital rhythmic deposits, still little studied, but very interesting from an environmental point of view.

KEYWORDS: DETRITAL RHYTHMIC DEPOSITS, DATA LOGGER, KARST CAVE.

ÉTUDE DES TRANSFERTS DES SÉDIMENTS

Les sédiments sont transportés par les cours d'eau. Quand les conditions le permettent, en fonction de la vitesse de l'eau et de la granulométrie des sédiments, ils se déposent, quand les vitesses changent dans des conditions particulières d'écoulements. Une compréhension simplifiée de ces phénomènes peut être illustrée par le diagramme de Hjulström. Il permet de relier dans une première approche la taille des particules et la vitesse du courant et connaître l'activité du grain, à savoir s'il y a érosion, transport ou dépôt. Les pièges à sédiments naturels se trouvent par exemple dans un coude d'une galerie, un changement de pente, un gour, ou un lac. Dans de nouvelles conditions hydrodynamiques, ces mêmes sédiments peuvent être à leur tour remobilisés, déplacés. De piège en piège, les sédiments se déplacent le long du drain (Lignier et Jaillet, 2010). Parfois l'accumulation peut être de plusieurs mètres d'épaisseur comme par exemple dans le lac de

la Cathédrale dans les grottes de Choranche (Perroux, 2006 ; Perroux et al., 2004). Plusieurs études ont analysé ces empilements avec des méthodes issues de la physique, de la chimie, de la géologie ... et permettent d'obtenir des résultats dans différents domaines comme par exemple la climatologie, l'environnement (Morel et al., 2009, 2013).

Cependant une analyse en continu des dépôts n'a pas été abordée et permettrait de mieux comprendre les dynamiques de transport et de dépôt des particules sédimentaires, notamment en ce qui concerne les épisodes de crues. En période de basses eaux on observe une sédimentation de fines particules (décantation), et en épisode de crues une sédimentation plus grossière. C'est dans cet objectif qu'une nouvelle série d'appareils est en cours d'étude. Ces appareils doivent quantifier la quantité de sédiments qui se dépose et suivre leur évolution au cours du temps.

CHRONOTRAPPE

Plusieurs grandeurs physiques sont susceptibles d'enregistrer la sédimentation. On peut citer par exemple : la permittivité, la résistivité, la réflexion optique. D'autres types de mesure sont envisagés

comme la piézométrie (mesure absolue de distance par mesure d'ultrason par exemple) et la RMN, résonance magnétique nucléaire (mesure de quantité d'eau). Ils sont baptisés chronotrappe.

Chronotrappe capacitive

La permittivité est une propriété bien connue des matériaux. Nous savons que celle de l'eau varie entre 34 F/m et 78 F/m et que celle des sédiments que nous étudions se trouve aux alentours de 4 F/m. La permittivité du mélange eau/sédiment doit se situer entre ces deux valeurs. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un impédance-mètre et d'un blindage permettant de diminuer fortement toutes les capacités parasites. Le principe et la mise en oeuvre sont simples. Néanmoins, ces variations de la capacité avec eau et eau/sédiment

ne sont de l'ordre que de quelques pourcent. En effet la permittivité de l'eau est trop forte et court-circuite celle des sédiments et masque en partie toute variation. De plus d'autres paramètres influencent cette mesure, comme la présence d'éléments solubles, d'ions ou la température, on ne peut espérer qu'une précision du capteur de 0,5 % maximum (à valider) soit quelques points de mesure au maximum. Cette méthode est donc abandonnée ici.

Chronotrappe résistive

La présence de sédiment dans l'eau modifie également sa conductivité. D'autre part, la forme de la tension, la durée de la mesure, ainsi que sa valeur vont modifier les propriétés de l'eau et donc sa conductivité. Une tension sinusoïdale de 10 kHz, de quelques centaines de millivolts et sur une durée de quelques dizaines de milliseconde a été choisie. Une première série de tests a déterminé l'emplacement des électrodes pour obtenir une variation de la conductivité maximale. Les électrodes sont placées horizontalement toutes les 4 mm, l'une en face de l'autre séparée de 6 mm. Le piège à sédiment est constitué de deux plaques d'époxy

où sont gravées les électrodes de 1 mm. On trouve la plus grande variation de la résistivité au moment où les électrodes se font recouvrir de sédiments comme le montre la Figure 1. La résistance aux bornes des huit électrodes est mesurée de façon automatique et régulière pendant le test. Les sédiments sont ajoutés petit à petit jusqu'à recouvrir la dernière électrode. Dès que le niveau des sédiments atteint et recouvre cette électrode la variation de la conductivité est à son maximum. Sur le graphique de la Figure 1 on observe pour chaque électrodes la variation de la résistance en fonction de la quantité de sédiment ajouté.

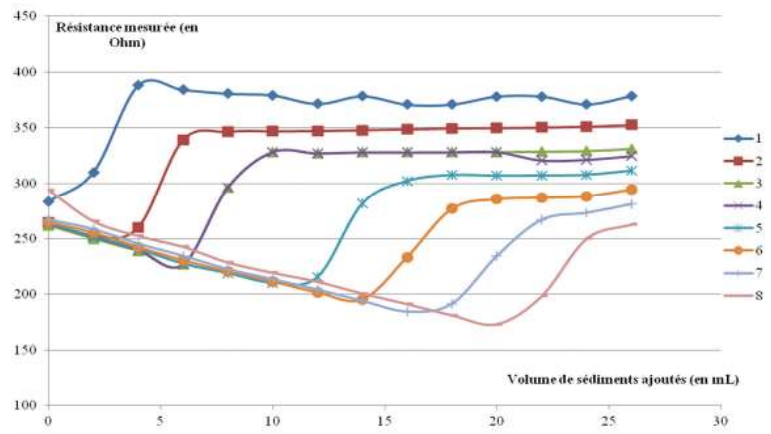


Figure 1 - À gauche : photographie du prototype chronotrappe résistive, À droite : mesure de la résistance pour les huit électrodes en fonction du volume de sédiment déposé dans le capteur.

Chronotrappe optique

Enfin un dernier prototype a été développé, basé cette fois sur l'optique. Les sédiments se déposent sur une vitre située à la base du système dans le tube (ici en PVC) (Figure 2). À l'intérieur de la boîte, sous cette vitre, on met en place un faisceau laser et deux cap-

teurs d'intensité lumineuse, ainsi que la carte d'acquisition et son alimentation. Lorsqu'aucun sédiment n'est déposé, la lumière du laser n'est réfléchi par aucun obstacle, les capteurs ne mesurent aucune intensité lumineuse. Dès les premiers sédiments déposés sur

la vitre, la lumière se réfléchit en partie et les photodiodes mesurent une intensité lumineuse. On trouve une relation linéaire entre l'intensité lumineuse et la quantité de sédiments jusqu'à une certaine quantité. Au-delà de cette valeur la relation s'infléchit et atteint une saturation. En effet toute la lumière est réfléchi, le capteur sature et devient aveugle. Le principe est simple, peu coûteux, mais le signal sature à partir d'une certaine limite. Aussi le dispositif doit être calibré et adapté en fonction de l'étude. Dans la courbe suivante est représentée la mesure de la lumière réfléchi en fonction du nombre de doses de sédiments déposés. À intervalle régulier (> 1 heure), une dose de sédiments (prélevés dans le siphon, de diamètre inférieur à 50 μm) est déposée sur le capteur dans une solution liquide. Sans sédiment, la valeur du capteur vaut 0 %, et 100 % est la valeur maximale quand le capteur sature. On observe une courbe de type exponentiel ce qui est en accord avec le principe (Figure 3). La sensibilité est d'autant moins importante que le nombre de doses augmente. À partir d'une vingtaine de doses de sédiments, le capteur n'enregistre plus de variation de signal. De plus, ce type de dispositif ne peut fournir qu'une valeur qualitative. La taille, la nature des sédiments influencent la mesure. Elle permet de quantifier l'impact d'une crue par rapport à une autre, de les classer, de connaître la chronologie...

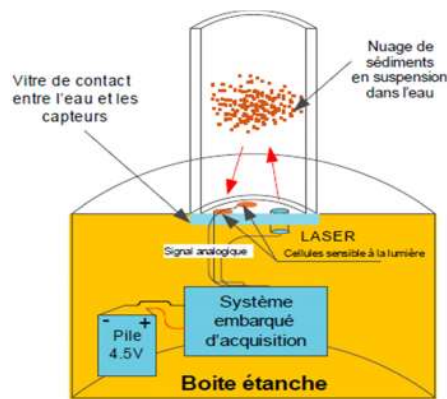


Figure 2 - À gauche : principe de fonctionnement du chronotrappe optique. À droite, photographie du dispositif.

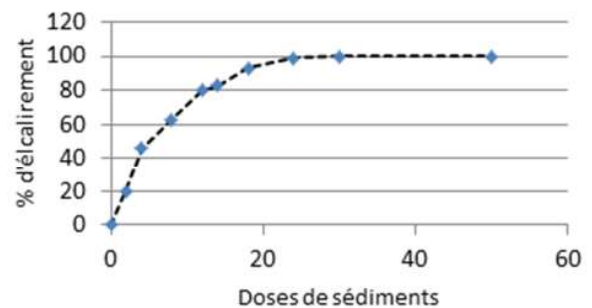


Figure 3 - Relation entre la lumière réfléchi et le nombre de doses de sédiments déposés.

Central d'acquisition autonome

Une carte d'acquisition a été développée pour enregistrer les signaux des capteurs de luminosité et commander le faisceau laser. Cette mesure se fait en quelques dizaines de millisecondes afin de réduire au maximum la consommation, et entre deux mesures, la carte se met en mode veille. Elle s'adapte à tout type de capteur et offre la possibilité de les gérer en fonction des contraintes de l'étude et de leur spécificité.

La carte d'acquisition permet l'enregistrement de plusieurs capteurs et avec une précision inférieure à 0,01 % de la pleine échelle. Elle a une autonomie de plusieurs années avec un stockage de très grande capacité permettant d'effectuer des enregistrements à des pas de mesure allant jusqu'à la demi-seconde. Une double sauvegarde sur deux cartes SD indépendantes augmente la fiabilité du système en cas de pannes.

INSTRUMENTATION DES GROTTES DE CHORANCHE

Le site étudié se situe dans le Vercors, massif des Préalpes du nord dans les grottes de Choranche, Vercors nord, où l'on observe plusieurs résurgences. À l'intérieur de la cavité, deux lacs proches de l'entrée historique sont alimentés par deux rivières, celle de Coufin et celle de Chevaline. En amont du lac de Chevaline dans la salle de la cathédrale, on bute sur un siphon long d'une centaine de mètres de long (Figures 4 et 5).

L'objectif principal de l'étude de ce site consiste en l'analyse des dépôts détritiques endokarstiques enregistrés dans les sédiments. Le but est de connaître la quantité transportée, déposés et leur chronologie (Lignier et Jaillot, 2010 ; Perroux *et al.*, 2004 ; Lignier *et al.*, 2012), et de façon plus générale de mieux comprendre

les contraintes particulières sur l'écoulement en grotte, la sédimentation et l'instrumentation associée (Jaillet et Lignier, 2009).

En parallèle à toute étude de ces dépôts, il convient de connaître le processus de mise en place et comprendre le contrôle de la géométrie des drains dans l'accumulation sédimentaire. Ceci consiste à étudier « l'effet de site » (Morel *et al.*, 2009, 2013 ; Dandurand *et al.*, 2011). En effet, celui-ci joue un rôle majeur dans l'organisation de ces dépôts. Une étude hydrogéologique fine a été menée pour bien comprendre les différents régimes de crues et les mises en charge au niveau de la zone siphonnante. D'autre part une cartographie fine en 3D des zones noyées et exondées a

été relevée. La zone siphonnante joue un rôle important dans le stockage temporaire de ces sédiments avant leur « décharge » dans le lac. Il faut donc déterminer

cette dynamique de transfert. Des appareils spécifiques ont été étudiés, développés et plusieurs campagnes de mesures effectuées.

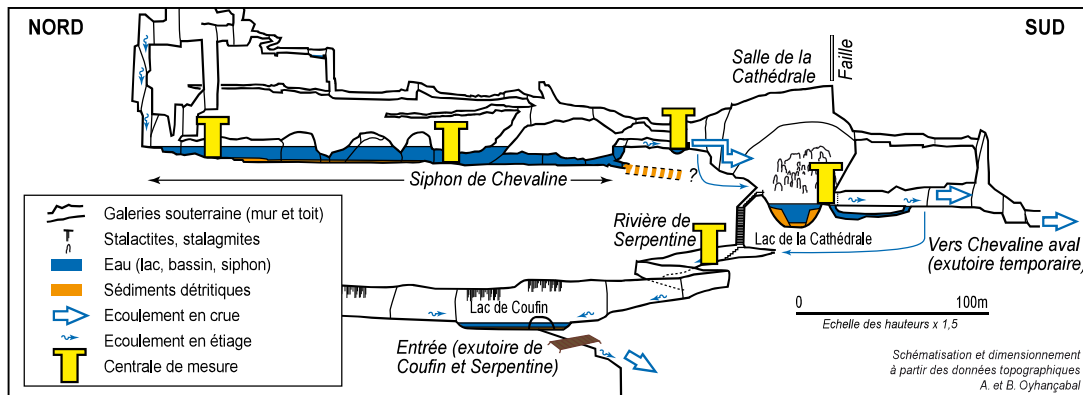


Figure 4 - Localisation des centrales de mesure dans la rivière étudiée : en amont, dans et en aval de la zone du siphon de Chevaline, ainsi qu'en aval du lac de la Cathédrale et dans la rivière de Serpentine.

Figure 5 - Le lac de la Cathédrale (en bas), le siphon de Chevaline (en haut à droite), dépôt sédimentaire au niveau du siphon (en bas à droite).
Photos S. Jaillot.



RÉSULTATS EN MILIEU NATUREL

Les pièges à sédiment, chronotrappe optique, ont été placés dans le lac de la Cathédrale à Choranche, pendant l'été 2010. La hauteur d'eau, a été enregistrée en amont du siphon de la Cathédrale par des luirographes. Les figures suivantes montrent l'enregistrement de ces deux données entre mi juillet et fin août 2010 (Figure 6). Du 17 juillet jusqu'au 24 août, aucune crue importante n'est enregistrée, seulement deux petites crues entre le 2 et le 5 août. Ces deux petites crues n'ont quasi pas d'influence sur la sédimentation. Pendant toute cette période (17 juillet au 24 août) on observe un très léger dépôt croissant linéairement de 5 %. Il est nécessaire d'analyser ce dépôt qui peut être imputé à un dépôt de biofilm, et ou à un dépôt de calcite. Lors de la première crue du 25 août, les sédiments sont mobilisés, déplacés. Cette crue fut importante, crue de type annuel, après un long épisode de sécheresse. Ce n'est qu'à la

fin de la première crue, le 26 août, que l'on observe un dépôt important qui se fait en 4-5 heures. La crue du 27 a une influence différente sur la sédimentation, le dépôt se fait d'une manière progressive, comme au début de la crue du 25. On n'observe pas de saut de sédimentation. La valeur du capteur a atteint un peu plus de 60%, est moins sensible, mais ne sature pas. Si il y avait eu un dépôt important (un seuil), comme pour la crue du 25, il aurait pu être enregistré. On peut supposer que la zone siphonnante a été « nettoyée » et seulement quelques sédiments sont déplacés (Fabre et Perrineau, 2001). Pour compléter cette étude, il serait intéressant de mesurer en parallèle la turbidité, la granulométrie sur plusieurs épisodes de crues et sur différentes saisons. Cela permettrait de mieux comprendre le transport, le dépôt de ces sédiments. D'autres campagnes de mesures doivent être menées.



Le site de la station de la rivière de Chevaline est calibré. Il est situé à l'aval de la zone siphonnante et à l'amont de la salle de la Cathédrale.



La rivière de Chevaline en crue, dans la zone cascadante en amont de la Cathédrale (en haut) et à son arrivée dans le lac souterrain (en bas).



A la sortie de la zone siphonnante, un tube avec règle graduée pouvait accueillir les capteurs de hauteur d'eau. Notez la trace noire en paroi marquant le niveau de crues les plus fréquentes.



La salle de la Cathédrale est un vaste volume souterrain effondré. La rivière de Chevaline y court sur un ensemble calcitique. Lors des crues, la calcite présente dans tout le système, est en partie érodée, puis exportée. Elle constitue une part importante de la charge détritifique identifiée dans les sédiments au fond du lac et de la zone siphonnante.



Photos : S. Jaillet.

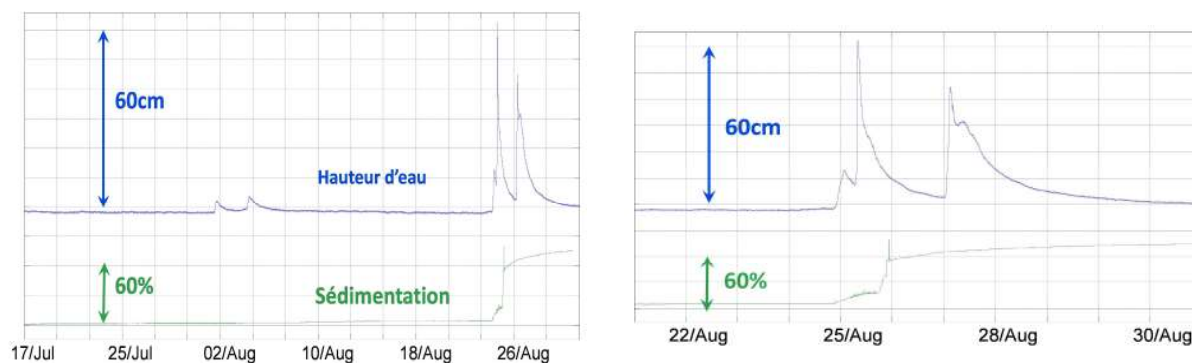


Figure 6 - Enregistrement des hauteurs d'eau (bleu) et dépôts sédimentaires (vert), juillet août 2010, et (à droite) zoom sur les crues du 25 et 27 août.

CONCLUSION

Ce travail permet de mieux comprendre les dynamiques de transport et de dépôt des particules sédimentaires en milieu souterrain. Ces appareils permettent de quantifier la quantité de sédiments qui se dépose et de suivre leur évolution au cours du temps. Plusieurs prototypes ont été développés avec différentes mesures : capacitive, résistive, optique. D'autres types de mesure

sont envisagés comme la piézométrie par ultra son et la RMN résonance magnétique nucléaire. Ils permettront d'avoir une résolution et une plage de mesure plus grandes tout en restant des appareils peu chers. Cette étude doit être complétée par d'autres campagnes de mesures en plaçant ces capteurs à différents endroits (dans le siphon, le lac).

Remerciements

Cette étude a bénéficié de l'aide financière de l'ANR climanthrope.

BIBLIOGRAPHIE

- DANDURAND G., MAIRE R., ORTEGA R., DEVES G., LANS B., MOREL L., PERROUX A.S., 2011. Geochemistry, cave deposits and site effect: applications to speleothems, detrital rythmites, ice and prehistoric paintings. *Géomorphology*, 4, 407-426.
- FABRE J.P., PERRINEAU A., 2001. Mise en évidence du phénomène du Renard: Exemple des crues exceptionnelles des sources du Boulet-Blagour. *Karstologia*, 38, 41-48.
- JAILLET S, LIGNIER V., 2009. Premières observations géomorphologique et sédimentologique dans le siphon de Chevaline (Grottes de Choranche, Vercors). Rencontre d'Octobre. Vercors.
- LIGNIER V., JAILLET S., 2010. Effet de site en zone noyée du karst: une cartographie morphosédimentaire à haute résolution du siphon de Chevaline des grottes de Choranche (Vercors, France). In 23^e Réunion des Sciences de la Terre. Bordeaux, France.
- LIGNIER V., JAILLET S., PERROUX A.S., THOMAS M., MALET E., DEVÈS G., MOREL L., DELANNOY J.J., 2012. Dynamique sédimentaire et effets de site en zone noyée du karst : l'exemple du siphon de Chevaline (Grottes de Choranche, Vercors, France). *Karstologia*, Fédération Française de Spéléologie et Association Française de Karstologie, n°60, 23-32.
- MOREL L., JAILLET S., PERROUX A.S., MAIRE R., DELANNOY J.-J., PERRETTE Y., LIGNIER V., MALET E., ULTIMA PATAGONIA, 2009. Karst instrumentation to study site effect examples in Choranche cave (France) and Madre de Dios archipelago (Chile). Proceeding of Karst Horizons International Congress, UIS, Kerrville, Texas, 1, 591-596.
- MOREL L., JAILLET S., PERROUX A.S., MAIRE R., 2013. Study of subterranean floods in oceanic subpolar karst of Madre de Dios archipelago (Patagonia, Chile), Springer.
- PERROUX A.S., 2006. Intérêt des sédiments détritiques endokarstiques en tant qu'archive naturelle ? Discussion autour des dépôts lacustres souterrains (Grottes de Choranche, Vercors). *Karstologia*, 60, 7-20.
- PERROUX A.S., DESMET M., DELANNOY J.J., PERRIETTE Y., 2004. Endokarstic sedimentological processes in the alpine area: Attempt of Holocene palaeoenvironmental and paleohydrological reconstructions. In Holocene climate in the Alps: Toward a common framework, 15-18 January 2004, Aix-les-Bains (France).