

AOI ECCOREV 2012

Projet HYLAMM :

Hydrologie et Paléo-hydrologie des Lacs du Moyen-Atlas Marocain: Approche multidisciplinaire (isotopes stables et paléoécologie)

Porteur : Laurence Vidal, CEREGE

Equipes impliquées : CEREGE*, IMBE*, ISTO

(* faisant partie de la Fédération Recherche ECCOREV)

Partenariat externe : Laboratoire de Géoressources, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

Contexte scientifique

Dans le contexte du changement climatique, les modèles prédisent une baisse des précipitations dans de nombreuses zones de la région méditerranéenne, et par conséquent une aggravation des pressions déjà fortes sur la ressource en eau. Néanmoins de nombreuses incertitudes persistent et la connaissance de la variabilité du cycle hydrologique à différentes échelles de temps de la région méditerranéenne doit être renforcée. Récemment, de nombreux travaux ont permis d'établir une synthèse des connaissances sur la variabilité hydro-climatique méditerranéenne (actuelle et passée) dans le cadre de programmes internationaux (par ex. MedClivar, <http://www.medclivar.eu/>). Ils révèlent cependant que la zone nord-africaine, est encore trop peu représentée dans les observations instrumentales et les reconstitutions des climats passés (Roberts et al., 2008).

Le Moyen Atlas est considéré comme le réservoir d'eau du Maroc. C'est une zone à pluviométrie élevée qui donne naissance aux deux plus importants fleuves du pays. Le climat est reconnu comme humide et froid climat de type continental de montagne méditerranéen. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 800 mm (Benkaddour, 1993; Benkaddour et al., 2008 ; Rhoujjati et al., 2010) et décroissent rapidement à l'Est et au Sud pour atteindre des valeurs de l'ordre de 300 à 100 mm/an (Ouda et al., 2005). Ces caractéristiques climatiques façonnent les écosystèmes forestiers méditerranéens qui sont composés d'espèces endémiques et emblématiques telles que le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*). Des travaux menés sur certains lacs présents dans la chaîne du Moyen Atlas marocain ont montré qu'ils peuvent être considérés comme des « pluviomètres » dont la chronologie des événements climatiques est enregistrée dans leurs dépôts sédimentaires (Benkaddour, 1993).

Le Moyen Atlas Marocain est donc une région clé pour déterminer l'influence de la dynamique climatique saharienne *versus* celle de l'Atlantique Nord à partir des variations des bilans hydriques actuels et passés (e.g. derniers millénaires) en réponse aux changements climatiques globaux. Ce projet s'inscrit parfaitement dans les objectifs de l'axe de recherche de la FR ECCOREV « Morphogénèse, risques naturels et variabilité climatique » et contribue aux objectifs du LABEX « OT-Med : Bassin méditerranéen », en particulier dans le groupe de travail dédié à l'étude du changement climatique en zone méditerranéenne.

Objectifs de la demande

Le projet HYLAMM porte sur la caractérisation du cycle hydrologique actuel et passé dans la zone du Moyen Atlas à partir de l'étude de deux lacs. Pour cela, nous comptons utiliser différents traceurs de la variabilité hydro-climatique (isotopes de l'oxygène et bio-indicateurs) à différentes échelles de temps avec comme principaux objectifs : **1)** la

caractérisation isotopique des bilans hydrologiques actuels afin de déterminer l'origine des précipitations, les bilans Précipitation-Evaporation (P-E), l'influence de la température, **2)** la calibration du proxy isotopique diatomées et ostracodes basée sur des échantillons actuels à sub-actuels, **3)** une reconstitution quantitative des périodes humides à partir de l'analyse des isotopes de l'oxygène des sédiments lacustres (carbonates et diatomées) couplée à des études paléoécologiques.

1- Caractérisation isotopique des bilans hydriques actuels

Les données hydrologiques et isotopiques modernes des lacs sont des éléments clés pour interpréter correctement les paléo-enregistrements (Vallet-Coulomb et al., 2006a, 2006b, 2008).

Dans le contexte karstique des lacs du Moyen Atlas, il s'agira d'estimer la proportion d'alimentation provenant des aquifères régionaux et des précipitations locales, ainsi que les pertes en eaux souterraines. En fonction des caractéristiques de chacun des lacs, nous établirons comment la composition isotopique de l'eau du lac répond à la composition isotopique des précipitations locales à l'échelle saisonnière et quelle est l'influence du fractionnement isotopique dû à l'évaporation du lac, l'influence de la température et l'origine des masses d'air humides.

Un suivi saisonnier couvrant un cycle annuel permettra de quantifier les variations saisonnières du bilan hydrologique et de comprendre la sensibilité des lacs aux variations des paramètres climatiques (Précipitation, température). Cet ensemble de données pourra être comparé aux bases de données isotopiques existantes (mais qui ne comportent pas de station au niveau du moyen Atlas montagneux) (IAEA Report, 2005 ; Atlas Isotope Hydrology - Morocco, IAEA report, 2010).

2- Caractérisation de la composition isotopique des précipitations sur la base de la calibration des proxies isotopiques ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{ostracodes}}$)

L'un des enjeux du projet est de pouvoir établir une relation entre la composition isotopique de l'eau du lac obtenu à partir de « proxy » et la composition isotopique des précipitations. En effet dans le cas de petits lacs hydrologiquement ouverts et avec des temps de résidence courts, la composition isotopique de l'eau du lac dépend principalement de la composition isotopique des précipitations (Roberts et al., 2008). Nous souhaitons donc dans un premier temps travailler sur des échantillons de surface (actuel) et de sub-surface (provenant de carottes courtes) dont nous pourrions comparer la composition isotopique ($\delta^{18}\text{O}_{\text{ostracodes}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$) directement avec les données instrumentales existantes et celles mesurées dans le cadre de **l'objectif 1**.

Les proxies $\delta^{18}\text{O}_{\text{ostracodes}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$:

Si les isotopes stables des carbonates biogéniques lacustres sont depuis plusieurs années utilisés dans les reconstitutions des conditions hydrologiques des milieux lacustres (von Grafenstein, 1999, Deville, .., Vidal et al., 2010 ; Gasse, Vidal et al., 2011), ce n'est pas le cas en ce qui concerne les isotopes stables de l'oxygène mesurés à partir des diatomées lacustres, qui a connu un récent essor que nous détaillons dans la suite.

La silice des diatomées précipite en équilibre isotopique avec l'eau dans laquelle elle se forme : la composition isotopique de l'oxygène des diatomées ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$) enregistre donc la composition isotopique de l'eau du lac ($\delta^{18}\text{O}_{\text{lac}}$) et constitue un traceur des variations hydrologiques d'un lac. L'analyse du $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$ a été récemment développée au CEREGE (mise en place de protocoles de purification des diatomées et leur extraction à partir du sédiment (Crespin et al., 2008) et analyse par fluorination-laser (Alexandre et al., 2006 ; Crespin et al., 2008 ; Chaplignin et al., 2011). De plus, la thermo-dépendance du facteur de

fractionnement entre $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{lac}}$ a été confirmé avec un coefficient de $-0.28\text{‰}/^{\circ}\text{C}$ (Crespin et al., 2010 ; Alexandre et al., 2012) permettant ainsi des reconstitutions de ($\delta^{18}\text{O}_{\text{lac}}$) et/ou de la température (Quesada, Sylvestre et al., in prep.). Appliqués au cas de lac de moyennes latitudes, ce projet nous donne l'opportunité de pouvoir calibrer la relation entre la $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatomées}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{précipitation}}$ dans le cas de lac ouvert.

A partir des échantillons de surface des lacs, sur lesquels nous effectuerons des mesures isotopiques des diatomées et des ostracodes nous pourrions ainsi proposer un traceur géochimique direct des variables climatiques qui contrôlent le bilan hydrologique des systèmes lacustres étudiés.

3- Reconstitution quantitative des périodes humides à partir de l'analyse des isotopes de l'oxygène des sédiments lacustres couplée à des études paléoécologiques.

Analyses isotopiques des carbonates et diatomées fossiles

Les travaux menés dans le cadre de l'**objectif 2** constitueront le socle de base interprétative aux mesures de la composition isotopique des proxies carbonates et diatomées que nous appliquerons aux séquences sédimentaires (que nous daterons), permettant ainsi d'apporter des interprétations robustes et quantitatives aux reconstitutions paléohydrologiques des derniers millénaires, voire de la dernière déglaciation.

Dans le cas des carbonates, nous comptons utiliser des carbonates biogéniques (ostracodes) afin de s'affranchir de l'effet des carbonates détritiques dont la signature isotopique peut biaiser l'estimation de la composition isotopique du lac. Notre choix s'effectuera sur des espèces dont l'effet vital est connu en vue d'estimer les variations de la composition isotopique de l'oxygène de l'eau.

Pour les diatomées, les calibrations permettront d'atteindre une reconstitution des variables climatiques. L'intérêt du couplage des deux proxies est que l'une ou l'autre des deux variables inconnues (e.g. température, $\delta^{18}\text{O}_{\text{lac}}$) dans le passé sera contrainte par la mesure de la composition isotopique des ostracodes et/ou des diatomées. Ces reconstitutions seront couplées aux études taxonomiques des assemblages fossiles des diatomées qui nous renseignent sur la profondeur des lacs et leurs compositions physico-chimiques.

Apport de l'approche paléoécologique

Les études palynologiques menées au sud de la méditerranée sont peu nombreuses à cause du faible nombre de sites favorables à la préservation de la matière organique durant plusieurs millénaires. Au Maroc, les séquences polliniques les mieux datées proviennent des sédiments prélevés dans le lac de Tiguelmamine et ont permis la reconstitution de l'évolution de la végétation (en particulier des aires de répartition des cèdres) ainsi que des changements climatiques durant les 10 ka (Cheddadi et al., 1998).

Dans le cadre de ce projet, nous souhaitons effectuer des reconstitutions de la végétation du Moyen Atlas afin d'obtenir des informations complémentaires (au regard des traceurs isotopiques) sur les conditions hydrologiques locales. L'approche que nous envisageons est basée sur l'analyse des charbons de bois conservés dans les sols (pédoanthracologie) qui permet de reconstituer la composition de la végétation ligneuse incendiée, donc de la végétation antérieure à la perturbation (le feu). L'analyse pédoanthracologique est l'une des rares méthodes paléoécologiques indépendante de sites humides, car les charbons de bois se conservent parfaitement bien en milieu sec. De plus, la résolution spatiale de la méthode est excellente : les charbons de bois étant enfouis sur le lieu même de la parcelle incendiée, il est possible de reconstituer l'histoire de la végétation à l'échelle de la parcelle (Touflan et Talon, 2009). Plusieurs parcelles réparties le long d'un versant apporteront l'image des

différents paysages qui se sont succédés dans le bassin versant (Talon, 2010). Le sol, milieu vivant, n'est pas stratifié au même titre qu'un dépôt sédimentaire ou tourbeux et la chronologie des épisodes de feu repose donc sur des datations absolues (^{14}C AMS). De plus, les charbons datés étant identifiés, il devient ainsi possible de révéler l'indigénat et de reconstituer l'aire de répartition d'un taxon donné.

L'analyse pédoanthracologique permettra d'étudier le passé du bassin versant des lacs étudiés, de reconstituer, grâce aux datations radiocarbone, les épisodes de feux successifs ayant contribué à la mise en place des paysages et d'identifier les essences favorisées par le feu ainsi que celles qui ont joué un rôle majeur dans la dynamique du bassin versant.

Présentation des sites d'études

Nous proposons d'initier nos travaux sur deux sites: les lacs karstiques Tiguelmamine et Aguelmam Azigza situés dans le Moyen Atlas marocain.

Le Lac Tiguelmamine (32°54'N, 05°21'W, 1710 m asl) correspond à un petit bassin versant (~ 3,5 km²) refermant 3 lacs creusés dans la dolomite du Lias inférieur orienté NW-SW. Nous proposons d'étudier le lac central (~ 6 ha avec une profondeur maximale de 16m). Les eaux de précipitations (pluies et neiges) alimentent le lac dont le surplus est évacué par un exutoire situé au Sud vers l'affluent de l'Ouest Oum-er-Rbia. L'hydrologie actuelle du lac a été étudiée à partir d'échantillons prélevés lors de 2 missions de terrain, ponctuelles (Benkkadour, 1993; Roberts et al., 2008). Les données des teneurs isotopiques des eaux lacustres montrent que l'effet d'évaporation est faible (Benkkadour, 1993, 2005, 2008). Des reconstitutions paléoclimatiques ont été réalisées sur une séquence sédimentaire du lac de Tiguelmamine et bien qu'incomplètes (couvrant la période 500-9000 ans BP puis 12000-20000 ans BP ; Lamb et al., 1989 ; 3000- 10200 ans BP , Benkkadour, 1993 ; Cheddadi et al., 1998), attestent de la faisabilité des reconstitutions paléoclimatiques sur ce type de lac.

Le lac Azigza (32°58'N, 5°26'W, 1470 m asl) occupe une dépression orientée NW-SE avec une profondeur maximale de 23m. Son alimentation en eau est assurée par les précipitations (pluies et neiges), le ruissellement et les apports hydriques souterrains (Benkkadour et al., 2008) et présente un exutoire temporaire au niveau de la rive NW. Une mission de terrain dédiée aux mesures physico-chimiques des eaux du lac a permis d'initier une étude de l'hydrologie et de l'hydrochimie actuelle (Benkkadour et al., 2008) et de montrer que le taux d'évaporation et le temps de séjour de l'eau sont équivalents à ceux du lac Tiguelmamine.

Réalisations prévues dans le cadre de la demande ECCOREV et suite prévues pour le projet

La présente demande vise à initier une partie des objectifs du projet HYLAMM, notamment les objectifs 1, 2 et une partie de l'objectif 3 grâce au financement d'une mission de terrain qui permettra de mettre en place un suivi saisonnier, de recueillir les premiers échantillons et les carottes d'interface et d'acquérir une bathymétrie et des profils sismiques des lacs sélectionnés. Les résultats obtenus lors de cette mission et la campagne d'échantillonnage permettront de proposer un projet de plus grande envergure à l'échelle de l'Afrique du Nord (qui permettra d'inclure des traceurs complémentaires des conditions hydrologiques) qui sera soumis à des appels d'offre nationaux (INSU-LEFE et/ou MISTRALS-SICMED/PALEOMEX).

Stratégie d'échantillonnage

Les données relatives aux teneurs isotopiques des eaux lacustres et souterraines des sites Tiguelmamine et Azigza, restent fragmentaires et ponctuelles dans le temps. Nous proposons, dans ce projet, d'affiner le bilan hydrologique de ces deux lacs par une étude isotopique d'échantillons prélevés grâce à un échantillonnage systématique mensuel des différentes eaux du bassin (neiges, pluies, sources) (**Objectif 1**). Nous proposons également

d'effectuer des prélèvements de carottes courtes (10-50 cm) dans les deux lacs pour effectuer le travail de calibration des proxies géochimiques (**Objectif 2**). Nous réaliserons également un échantillonnage paléoécologique du bassin versant (**Objectif 3**).

En parallèle, nous souhaitons réaliser une bathymétrie haute résolution et un profil sismique des deux bassins (Tiguelmamine et Azigza), préalable nécessaire au projet de carottage de séquences sédimentaires plus longues. La bathymétrie permettra (i) l'établissement de la géomorphologie du bassin, (ii) d'identifier d'éventuelles sources souterraines et (iii) le calcul du volume d'eau. L'approche sismique permet (i) d'obtenir une cartographie en 3D de la géométrie des sédiments, de leur structure et de leur organisation et apporte des informations sur les processus de dépôts sédimentaires, (ii) elle aide à la reconstitution des niveaux lacustres, (iii) elle permet de localiser le site idéal pour les carottages en terme de profondeur et de résolution potentielle recouvrable pour les moyens de forages.

Déroulement de la mission de terrain (automne 2012 ou printemps 2013)

1-Echantillonnage au niveau des bassins versants :

-Mise en place de l'échantillonnage mensuel de l'eau (eaux météoriques, lacs, sources et puits)

-Echantillonnages de macrorestes de charbons

2- Prélèvement de carottes interfaces dans les 2 lacs

3-Mise en œuvre de la bathymétrie et/ou sismique des bassins

L'équipe 3 du projet dispose d'un échosondeur bifréquences GPS Garmin et d'un logiciel de numérisation des données (x,y,z) permettant de réaliser des cartes bathymétriques et de tester la pénétration des ondes acoustiques à très hautes fréquences. A partir de cette base de données, il sera également possible de prélever des carottes gravités (1-2m) en complément des carottes interfaces afin de cibler les analyses sur les séquences les plus appropriées. Pour la sismique nous comptons utiliser une sismique légère à haute résolution à source acoustique de type 'Chirp' en utilisant un sondeur de sédiment (Type EdgeTech 3100-P Portable Sub-Bottom Profiler). Cet équipement portatif permet d'obtenir des données sismiques de très haute qualité avec des résolutions performantes sur des profils pouvant atteindre jusqu'à 80m de profondeur.

Budget

La présente demande concerne une campagne de terrain (7 jours) pour la réalisation des cartes bathymétriques et/ou profils sismiques haute résolution des deux lacs et la mise en place des prélèvements d'eau qui seront effectués mensuellement par nos partenaires marocains. En parallèle, nous effectuerons une demande de datations ¹⁴C à ARTEMIS pour des échantillons de charbons et d'eau.

Billets d'avion (3 personnes)	750 €
Voyage bateau (3 personnes + fourgon)	1300 €
Location Fourgon SETEL	500 €
Location 4x4 IRD Maroc	140 €
Location Zodiac SETEL	360 €
Carburants (véhicules + moteurs)	500 €
Hébergement au Maroc	600 €
Repas	600 €
Prélèvements mensuels eaux (frais déplacement et séjour)	1000 €
Matériel divers (mission terrain et prélèvements échantillons)	250 €
TOTAL	6000 €

Liste des participants

Equipe 1 : CEREGE, UMR 7330, AMU/CNRS/IRD 161 (dir. N. Thouveny)

Nom du participant	Statut	Spécialité	%
Laurence Vidal Porteur du projet	MCF, AMU	Coordinateur, Paléohydrologie, Géochimie des carbonates	25
Corinne Sonzogni	IE, CNRS	Géochimie des carbonates, eau, silice	30
Christine Vallet-Coulomb	MCF, AMU	Géochimie de l'eau, hydrologie actuelle	10
Florence Sylvestre	DR, IRD	Géochimie de la silice, paléohydrologie	15
Maurice Taieb	DR, CNRS	Expert paléolimnologie	
Michel Decobert/ Sébastien Marguerite	IE/CNRS IE/CNRS	Expert SETEL Expert SETEL	

Equipe 2 : IMBE UMR 7263 CNRS et IRD 237 (dir. T. Tatoni)

Nom du participant	Statut	Spécialité	%
Brigitte Talon Porteur du projet Eq 2	MCF, AMU	Paléoécologie	15

Equipe 3 : UMR 7327 CNRS-Université d'Orléans-BRGM (dir. Bruno Scaillet):

Nom du participant	Statut	Spécialité	%
Emmanuel Chapron Porteur du projet Eq 3	MCF, Univ. Orléans	Expert Géophysique, cartographie acoustique et Sédimentologie	15

Partenaires extérieurs (Lab. Géoressources, Univ. Cadi Ayyad), Marrakech

Nom du participant	Statut	Spécialité	
Ali Rhoujjati	PR	Géochimie organique	
Abdelfattah Benkaddour	PR	Géochimie des eaux	

Références bibliographiques citées

- Alexandre A, Basile-Doelsch I, Sonzogni C, Sylvestre F, Parron C, Meunier JD, Colin F (2006). *Geochim Cosmochim Acta* 70: 2827-2835
- Alexandre, A., Crespin, J., Sylvestre, F., Sonzogni, C., Hilbert, D.W. (2012). *Climate of the Past*, 8, 307-324.
- Benkaddour, A., (1993). *Thèse Doctorat Sciences*, Université de Paris-Sud, 170 pp.
- Benkaddour A., Lamb H. and Leng M., (2005).. PAGES 2nd Science Meeting, Paleoclimate, Environmental Sustainability and our Futur, 10-12, Beijing, China.
- Benkaddour, A., Rhoujjati, A., and Nour El Bait, M. (2008). *Actes RQM4, Oujda*, 108-118.
- Chapligin B., Leng M., Webb E., Alexandre A., Dodd J., Faure K., Ijiri A., Lücke A., Shemesh A., Abelman A., Herzsuh U., Longstaffe F., Meyer H., Moschen R., Okazaki Y., Rees N.H., Sharp Z., Sloane H.J., Sonzogni C., Swann G., Sylvestre F., Tyler J., Yam R., (2011). *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 10.1016/j.gca.2011.08.011
- Cheddadi, R., Taieb, M., Damnati B., Ortu, E., Guiot J. and Lamb, H. (2004).. *In Leroy S. and Costa P. (Eds). Environmental catastrophes in Mauritania, the desert and the coast*: 39-43.
- Cheddadi, R., Lamb, H., Guiot J., Van der Kaars, S., (1998).. *Climate Dynamics*, 14 (12), 883-890.
- Crespin, J., Alexandre, A., Sylvestre, F., Sonzogni, C., Paillès, C., Garreta, V., (2008).. *Analytical chemistry*, 80, 2372–2378.
- Crespin, J., Sylvestre, F., Alexandre, A., Sonzogni, C., Paillès, C., Perga, M.-E., (2010).. *Journal of Paleolimnology*, 44, 547-557.
- Damnati, B & Taïeb, M., (2003).. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc* (452): 301-306.
- Damnati, B. & Taïeb, M., (2008).. *Actes RQM4, volume 1* : 119-129.
- Develle, A.L., Herreros, J., Vidal, L., Sursock, A., Gasse, F. (2010), *Quaternary Science Reviews*, 29, 865-886.

- Etabaï, I., (2009).. *Thèse de doctorat national*, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdelmalek Essaadi, Tanger. 1 volume, 362p.
- El Hamouti, N., (1989). *Thèse de l'Université de Paris XI*, 298 p.
- El Hamouti, N., Lamb, H.F., Fontes, J.C. & Gasse, F., (1991). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Séries II, **313**: 259-265.
- Flower, R.J., Stevenson, A.C. & Hakansson, H., (1990). *Diatom Research*, Vol. **5**, n° 2, 253-260.
- Flower, R.J., Stevenson, A.C., Dearing, J.A., Foster, I.D., Airey, A., Rippey, B., Wilson, J.P.F. & Appleby, P.G., (1989). *Journal of Paleolimnology*, Vol. **1**, 293-322.
- Gasse, F., Vidal, L., Develle, A-L., van Campo E., (2011), *Climate of the Past*, 7, 1261-1284.
- Lamb, H., Roberts, N., Leng, M., Barker, P., Benkaddour, A., and van der Kaars, S., (1999). *Journal of Paleolimnology* 21, 325-343.
- Lamb, H. F., Gasse, F., Benkaddour, A., Elhamouti, N., Vanderkaars, S., Perkins, W. T., Pearce, N. J., and Roberts, C. N., (1995). *Nature* 373, 134-137.
- Lamb, H.F., Damblon, F. & Maxted, R.W., (1991). *Journal of Biogeography*, Vol. **18**, 519-532.
- Lamb, H. F., Eicher, U., and Switsur V.R. (1989). An 18,000-year record of vegetation, lake-level and climatic change from Tigueltmamine, Middle Atlas, Morocco, *Journal of biogeography*, 16, 65-74.
- Maxted, R. W., (1989). Ph. D. thesis, University of Wales at Aberystwyth, 266 p.
- Ouda B., El Hamdaoui A. et Ibn Majah M., (2005) –IAEA Tecdoc 1453, pp. 125-140.
- Roberts, N., Jones, M. D., Benkaddour, A., Eastwood, W. J., Filippi, M. L., Frogley, M. R., Lamb, H. F., Leng, M. J., Reed, J. M., Stein, M., Stevens, L., Valero-Garces, B., and Zanchetta, G., (2008). *Quaternary Science Reviews* 27, 2426-2441.
- Rhoujjati, A., (2007). *Thèse Doctorat Sciences*, Université d'El Jadida, 186 pp
- Rhoujjati, A., Cheddadi, R., Taieb M., Baali, A., and Ortu E. (2010). *Journal of Arid Environment*. doi:10.1016/j.jaridenv.2009.09.006.
- Soulie-Marsche, I., Benkaddour, A., El Khiati, N., Gemayel, P., and Ramdani, M., (2008). *Geobios* 41, 435-444.
- Talon B., 2010.- *The Holocene*, 20, 1, 34-44.
- Touflan P. et Talon B., 2009. *Ecoscience*, 16, 23-27.
- Vallet-Coulomb C., Gasse F., Sonzogni C. (2008) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, p. 4661-4674.
- Vallet-Coulomb C., Gasse F., Robison L., Ferry L., Van Campo E., Chalié F. (2006) *Journal of Hydrology*, 331, p. 257-271.
- Vallet-Coulomb C., Gasse F., Robison L, Ferry L. (2006). *Journal of Geochemical Exploration*, 88, p. 153-156.
- Von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H. & P. Trumborn, (1999), *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 148, 133-152.
- Zeroual, E., (1995). *Thèse de Doctorat*, Université de Neuchâtel, 189 p.

CV court des porteurs des équipes 1, 2 et 3

Laurence Vidal

MDC, HDR

CEREGE, Eq. Géochimie et Géochronologie

35 publications (dont 31 rang A), h=13

Cursus

-1996 : Doctorat (UPMC) effectué au CFR (CNRS/CEA), GIF/YVETTE, FRANCE.

-1996-1999 : Post-Doctorat (Univ. de Brême, Allemagne) DPT. GEOSCIENCES MARINES

-1999 : Maître de conférence à l'Univ. d'Aix-Marseille III , CEREGE

-2011 : Habilitation à Diriger des recherches (UPCAM)

Domaine de recherche :

Paléoclimatologie, Paléocéanographie, Paléohydrologie continentale

Thème principal : Variabilité des cycles hydrologiques moyenne et basse latitudes (dernier cycle climatique)

Outil principal : analyse des isotopes stables des carbonates ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$) (mise en place de l'analyse des isotopes stables au CEREGE depuis 2001)

Principales Responsabilités actuelles

-Membre élue au comité national du CNRS, section 19, mandat (2008-2012)

-Coordonnatrice d'un projet (INSU) LEFE-EVE (PALEOLIBAN) (2010-2013)

- Responsable de module d'enseignements
- Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche (PEDR) (2008-2012)
- Encadrement d'étudiants : 5 thèses encadrées dont une thèse en co-direction démarrée en 2011 au CEREGE, membre comité de thèse (thèse démarrée en 2010) au LSCE

Publications récentes en relation avec le projet :

- Develle, A.L., Herreros, J., Vidal, L., Sursock, A., Gasse, F. **2010** Controlling factors on a paleo-lake oxygen isotope record (Yammoûneh, Lebanon) since the Last Glacial Maximum, **Quaternary Science Reviews**, 29, 865-886.
- Develle, A.L., Gasse F., Vidal L., Ghaleb B., Demory F., Williamson, D., **2011** A 250 ka sedimentary record from a small karstic lake in the northern Levant (Yammoûneh, Lebanon). Paleoclimatic implications, **Palaeogeog., Palaeoclimat., Palaeoecol.** 305, 10-27 .
- Gasse, F., Vidal, L., Develle, A-L., van Campo E., **2011**, Hydrological variability in Northern Levant: a 250 ka multi-proxy record from the Yammoûneh (Lebanon) sedimentary sequence, **Climate of the Past**, 7, 1261-1284.

Emmanuel Chapron

MDC, HDR

ISTO Eq. Biogéosystème

51 publications de rang A, h=13

Cursus

- 1999 : Doctorat (Univ. Lille 1) en codirection avec Univ Savoie, effectué au Bourget du Lac, France
- 1999-2001 : Postdoctorat (Univ Gand, Belgique) Renard Centre of Marine Geology
- 2001 : Maître de conférences à l'Univ. D'Orléans, ISTO
- 2002-2007 : Chercheur Associé (ETH Zurich) Geological Institute (en détachement Univ. Orléans)
- 2007 : Réintégration à l'Univ. Orléans
- 2008 : Habilitation à Diriger des recherches (Univ Orléans)

Domaine de recherche :

Paléolimnologie, Paléoenvironnements, Paléohydrologie continentale, Risques Naturels

Thème principal : Changements environnementaux en milieu de montagne de moyenne latitudes (dernier cycle climatique, derniers millénaires)

Outils principaux : cartographie acoustique (sismique réflexion à haute résolution) et reconstitution des flux terrigènes (chronologie et évolution des apports minéral et organique sur carotte de sédiment)

Principales Responsabilités actuelles

- Responsable de module d'enseignements
- Coordinateur d'un projet (INEE) Observatoire-Homme-Milieu (OHM Vaut Vicdessos) (2010-2013) et d'un projet (INEE-INSHS) Réseaux des OHM (ROHM, 2011-2012)
- Prime d'Excellence Scientifique (PES 2010-2014)
- Encadrements d'étudiants (Master 1 et 2), co-directeur d'une thèse en cours à l'ISTO

Publications récentes en relation avec le projet :

- Guyard H., **Chapron E.**, St Onge G., Anselmetti F., Arnaud F., Magand O., Francus P., Mélières M.A. (2007). High-altitude varve records of abrupt environmental changes and mining activity over the last 4000 years in the Western French Alps (Lake Bramant, Grandes Rousses Massif). **Quaternary Science Reviews**, 26, 2644-2660.
- Debret M., **Chapron E.**, Arnaud F., Desmet M., Rolland-Revel M., Magand O., Trentesaux A., Bout-Roumazielle V., Nomade J. (2010). North western Alps Holocene palaeohydrology recorded by flooding activity in Lake Le Bourget, France. **Quaternary Science Reviews**, 29 (17-18), 2185-2200.
- Luterbach S, **Chapron E**, Brauer A, Hüls M, Gilli A, Arnaud F, Piccin A, Nomade J, Desmet M, von Grafenstein U. and the DecLakes participants (2012). A sedimentary record of Holocene surface runoff events and earthquake activity from Lake Iseo (Southern Alps, Italy). **The Holocene**. doi: 10.1177/0959683611430340.

Brigitte Talon

MDC

IMBE, UMR 7263 CNRS et IRD 237

43 publications (dont 19 rang A)

Cursus

-1997 : *Doctorat (Aix Marseille III) effectué à l'IMEP (UMR CNRS), MARSEILLE, FRANCE.*

-1997-1999 : *Post-Doctorat (Université Laval, Québec) CENTRE D'ETUDES NORDIQUES (S. PAYETTE)*

-1999 : *Maître de conférences à l'Université Aix-Marseille III, IMEP*

Domaine de recherche :

Paléoécologie, Ecologie historique, Anatomie du bois

Thème principal : Histoire et dynamique holocènes de la végétation ligneuse en relation avec les incendies, recherche du signal anthropique dans la mise en place des paysages

Outil principal : analyse des charbons de bois conservés dans les sols (pédoanthracologie) (mise en place du laboratoire de pédoanthracologie sur le site de l'Arbois en 2000)

Principales Responsabilités actuelles

-Coordinatrice de l'équipe *Systèmes forestiers et Anthropisation* du département I de l'IMEP (*Paléoenvironnements et biogéographie évolutive*) de 2004 à 2012

- Responsable M1R BioECo (2008-2012) et M1R SBE (2012-2016) (Master SET)

- Responsable Spécialité Recherche BioECo du Master SET (M1 et M2) (2010-2012)

- Responsable de 4 modules d'enseignements (L2, M1)

- Membre de la Commission Enseignement du Département Environnement, Université Paul Cézanne (depuis 2008)

- Membre du Conseil du Département Environnement, Université Paul Cézanne (depuis 2008).

- Prime d'Excellence Scientifique (PES (2012-2016)

- Encadrement d'étudiants : 7 M2R et 6 Doctorats co-encadrés dont 4 soutenus

Publications récentes en relation avec le projet :

Talon B., 2010.-Reconstruction of Holocene high altitude vegetation cover in the French Southern Alps: evidence from soil charcoal. *The Holocene*, 20, 1, 34-44.

Henry F., **Talon B.** & Dutoit T., 2010. The age and the history of the French Mediterranean steppe revisited by soil wood charcoal analysis. *The Holocene*, 20 : 25-34.

Robin, V., **Talon, B.**, Nelle, O., 2012. Pedoanthracological contribution to forest naturalness assessment, *Quaternary International* (2012), doi: 10.1016/j.quaint.2012.02.023