



HAL
open science

Scientific description of the IPANEMA project

Loïc Bertrand, Jean Doucet

► **To cite this version:**

Loïc Bertrand, Jean Doucet. Scientific description of the IPANEMA project. Synchrotron SOLEIL. 2025. hal-04865096

HAL Id: hal-04865096

<https://hal.science/hal-04865096v1>

Submitted on 5 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Description scientifique du projet IPANEMA

Loïc BERTRAND^{1,*}, JEAN DOUCET^{1,2}

¹ Synchrotron SOLEIL, L'Orme des merisiers, Saint-Aubin, BP 48, 91192 Gif-sur-Yvette, France

² Université Paris-Saclay, CNRS, Laboratoire de Physique des Solides, 91405 Orsay, France

* Current address: Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, PPSM, 91190 Gif-sur-Yvette, France

Orcid: 0000-0001-6622-9113 (Loïc Bertrand)

This document contains the chapter devoted to the scientific description of the IPANEMA project submitted in 2006 for funding under the State–Region Île-de-France Project Contract (*Contrat de projets État–Région Île-de-France*) 2007–2013, and for which funding has been approved. IPANEMA is the *Institut photonique d'analyse non-destructive européen des matériaux anciens* (European photonic institute for the non-destructive analysis of ancient materials), based at the SOLEIL synchrotron facility on the Université Paris-Saclay campus.

We are providing the original version of the text in French, as well as an English translation of the document. Minor errors and typos have been corrected. The bibliographical references in press at the time have been updated.

For further information, please refer to the following references:

- L. Bertrand and J. Doucet. “Dedicated liaison office for cultural heritage at the SOLEIL synchrotron.” In: *Il Nuovo Cimento C* 30.1 (Mar. 22, 2007), pp. 35–40. DOI: 10.1393/ncc/i2006-10034-x
- L. Bertrand et al. “European research platform IPANEMA at the SOLEIL synchrotron for ancient and historical materials.” In: *Journal of Synchrotron Radiation* 18.5 (Sept. 1, 2011), pp. 765–772. DOI: 10.1107/S090904951102334X
- Loïc Bertrand. “Apports historiques du rayonnement synchrotron: Chapitre V - Étude des matériaux anciens.” In: *Histoire de la recherche contemporaine* Tome III - N°1 (2014), pp. 65–67. DOI: 10.4000/hrc.590
- Loïc Bertrand. “Methodological developments and support for synchrotron investigation in Cultural heritage and Archaeology.” In: International Atomic Energy Agency. *Trends of synchrotron radiation applications in cultural heritage, forensics and materials science*. IAEA TECDOC Series 1803. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2016, pp. 48–59

- Loïc Bertrand et al. “Initiatives européennes d’IPANEMA et du synchrotron SOLEIL pour l’étude des matériaux anciens.” In: *Technè* 43 (2016), pp. 75–78. DOI: 10.4000/techne.723
- Loïc Bertrand et al. “IPANEMA, un laboratoire dédié à l’étude des matériaux anciens et patrimoniaux par méthodes synchrotron.” In: *Reflets de la physique* 63 (Oct. 2019), pp. 21–21. DOI: 10.1051/refdp/201963021

Contents

1	IPANEMA project, French version	4
1.1	Description scientifique	4
1.2	Attendus scientifiques et économiques du projet au plan national	7
1.3	Place du projet dans le contexte national et européen	11
1.4	Intérêt de cette opération au plan local et pour la région; identification des impacts socio-économiques	12
2	IPANEMA project, English version	15
2.1	Scientific description	15
2.2	Scientific and economic benefits of the project at national level	18
2.3	Place of the project in the national and European context	21
2.4	Interest of this operation locally and for the region; identification of socio-economic impacts	23

1 IPANEMA project, French version

Authors: Loïc Bertrand, Jean Doucet

October 2006

1.1 Description scientifique

Le patrimoine culturel est une source de connaissance, de partage, d'épanouissement. Bien que son impact soit souvent sous-estimé, il joue un rôle clé dans l'économie française, notamment via l'activité touristique du pays, première destination touristique mondiale. La région Île-de-France constitue elle-même la première destination nationale. Parmi les 10 sites touristiques les plus visités en Île-de-France en 2005, 9 relèvent du patrimoine culturel. Ils totalisent plus de 52 millions de visiteurs sur l'année [1].

Le patrimoine, un enjeu de société À l'avenir, le patrimoine pourrait jouer un rôle « majeur de développement local et d'amélioration du cadre de vie (aménagement du territoire, urbanisme, tourisme) et une source d'épanouissement personnel et collectif » (*Synthèse du rapport relatif à la protection et valorisation du patrimoine en Ile-de-France*, Conseil économique et social d'Île-de-France, octobre 2004). Néanmoins, comme indiqué dans le *Schéma directeur de la recherche en sciences humaines dans les musées nationaux 2005–2008* (Ministère de la culture – Direction des musées de France, février 2005), « la connaissance des œuvres, que ce soit pour leur bonne conservation, l'extension des collections ou leur mise en valeur, signifie une intense activité de recherche. Identifier et mieux soutenir la recherche constitue donc un enjeu stratégique pour l'avenir des musées ». Cet enjeu s'étend à l'ensemble du secteur patrimonial : archéologie, paléontologie, archives, histoire de l'art, etc. Dans le cadre du 7^e PCRD européen en cours de lancement, la conservation des objets du patrimoine culturel est placée dans le contexte plus large du développement durable, à l'heure où l'aggravation de la pollution atmosphérique et des sols accélèrent la dégradation des œuvres, sites archéologiques et monuments. En tant que telle, l'étude des matériaux du patrimoine constitue donc un véritable enjeu de Société.

Les matériaux du patrimoine, complexes et hétérogènes Ces recherches requièrent la mise en œuvre d'études scientifiques poussées des matériaux qui constituent les objets, œuvres et monuments. En complément à l'étude des contextes des objets, de leur style, des sources anciennes, il est nécessaire de comprendre les techniques qui ont été mises en œuvre pour les réaliser, les processus qui conduisent à leur altération au cours du temps, et de procéder à un choix éclairé des objets à préserver. Cependant, les matériaux anciens, la plupart du temps fabriqués à la main à partir d'ingrédients naturels et parfois fortement altérés du fait du vieillissement à long terme, constituent un défi à nos connaissances scientifiques actuelles

du fait de leur hétérogénéité à toutes les échelles. Ainsi, la physico-chimie des systèmes considérés est souvent particulièrement complexe : les composés organiques, minéraux, leurs mélanges, produits d'altération et d'interaction doivent être compris. Les matériaux d'art font souvent l'objet de traitements et modifications pour jouer avec leur apparence visible, elle-même fortement affectée par leur texture microscopique. Au-delà de la complexité des matériaux eux-mêmes, ces développements requièrent la convergence d'un grand nombre de disciplines connexes en sciences humaines, mais également physique, chimie, biologie, ingénierie, environnement, sciences de la Terre.

Un domaine en plein essor En complément de l'imagerie topographique et de la détermination de la composition, la sélectivité chimique des expériences est requise afin d'atteindre une compréhension satisfaisante des matériaux du patrimoine. Ces travaux connaissent un développement important sous l'impulsion des nouvelles possibilités offertes par les grands instruments (synchrotron, faisceau d'ions) et par l'instrumentation portable. Les exemples d'application du rayonnement synchrotron pour le patrimoine sont nombreux (près de 250 publications). Parmi les plus importants, citons-en trois. Les micro-faisceaux synchrotron sont de plus en plus employés pour identifier (par micro-diffraction et absorption de rayons X) la nature, les processus de fabrication, l'altération des pigments dans la stratigraphie de couches picturales pouvant n'être que de quelques micromètres d'épaisseur [2, 3]. Les méthodes de microanalyse synchrotron d'objets archéologiques ferreux permettent de clarifier la chaîne opératoire impliquée dans leur production, de suivre la diffusion des techniques métallurgiques en Europe, mais également de mieux maîtriser la conservation des objets [4, 5]. Le couplage de méthodes de micro-fluorescence X et micro-absorption X a permis de comprendre les processus menant à la dégradation de bois gorgés d'eau provenant d'épaves anciennes, entraînant le traitement de navires entiers [6, 7]. Les méthodes synchrotron (fluorescence, diffraction, absorption, microscopie, tomographie de rayons X, microscopie infrarouge, imagerie UV...) viennent en complément des méthodes de laboratoire lorsqu'une résolution plus fine, des données quantitatives et/ou une sélectivité chimique précise en imagerie sont recherchées. Ces méthodes peuvent être appliquées de manière non destructive tant sur des micro-prélèvements que sur des objets entiers. Les données accumulées par les projets LabsTech (5^e PCRD, 1999–2002) puis EU-Artech (6^e PCRD, 2004–2008) montrent que les laboratoires travaillant à l'analyse des objets des musées font fortement appel aux méthodes de spectroscopie et d'imagerie photonique (spectroscopie infrarouge, diffraction et fluorescence de rayons X, radiographie). On comprend alors que ces mêmes méthodes, mais employées principalement en mode micro-faisceau, se retrouvent au niveau des travaux publiés employant des analyses synchrotron. On note en outre une forte utilisation de l'absorption X, méthode quasi exclusivement disponible sur source synchrotron [8-10].

Des besoins analytiques non satisfaits Néanmoins, les témoignages recueillis auprès de plus d'une soixantaine d'équipes consultées en Europe nous ont montré leur faible degré de satisfaction concernant la mise en œuvre pratique des méthodes synchrotron. Trois points sont constamment soulignés : 1) le manque de soutien pour les utilisateurs non-experts de ces techniques, 2) le fait que les « cas d'école » (études d'objets phares pris hors de leur contexte), parfois peu exploitables par les professionnels, soient systématiquement privilégiés par les grands instruments, 3) l'impossibilité de développer des études portant sur des séries statistiques, études redondantes, mais nécessaires à l'archéométrie comme à l'histoire de l'art. Pour répondre à ces besoins, SOLEIL a lancé en 2004 une interface dédiée au patrimoine et à l'archéologie, intitulée HALO (*Heritage and Archaeology Liaison Office*). Trois axes ont été particulièrement développés par HALO : mise en place d'un comité de sélection des projets « *Sciences de la terre, environnement, archéologie et patrimoine* », soutien direct aux utilisateurs dans la préparation de leurs projets sur SOLEIL, actions de formation dédiées à l'utilisation du rayonnement synchrotron pour le patrimoine.

IPANEMA, une plateforme de soutien aux acteurs du patrimoine Au démarrage de SOLEIL, il apparaît néanmoins qu'un groupe interne à SOLEIL ne suffira pas à répondre à la demande des utilisateurs de la communauté du patrimoine. En outre, la structure interne de SOLEIL et des autres synchrotrons au niveau international, instruments au service d'un nombre important de communautés scientifiques, ne permet pas de privilégier une communauté par rapport à une autre, et donc interdit une extension importante de ces activités au sein du synchrotron¹. HALO est également fortement sollicité pour des demandes d'analyse ne requérant pas le rayonnement synchrotron. Le projet présenté ici vise à constituer une plateforme analytique dédiée à l'étude des objets du patrimoine, adossée au synchrotron SOLEIL, intitulée par la suite IPANEMA pour *Institut Photonique d'Analyse Non-destructive Européen des Matériaux Anciens*. Celle-ci viendra en support des structures existantes spécialisées dans l'étude du patrimoine, notamment pour les activités de développement technique et de service auxquelles elles ne peuvent qu'imparfaitement répondre du fait de leur charge quotidienne. Cette plateforme est structurellement conçue pour compléter le champ des techniques accessibles à ces structures et ne vient en aucun cas en concurrence des activités qu'elles mènent. La plateforme est ainsi le fruit de la mise en place de synergies avec un grand nombre d'acteurs en région Île-de-France, mais également au niveau (ou à compétence) national et européen.

¹Voir également cet extrait du rapport du député Christian KERT de l'OPECST : « Ce problème [brunissement des vitraux médiévaux] demanderait un effort de recherche soutenu, avec la mise en œuvre de méthodes de pointe comme le rayonnement synchrotron. La construction du synchrotron Soleil, dont un des objectifs est de travailler sur des thématiques liées au patrimoine, est une occasion de développer une recherche de pointe dans le secteur des verres anciens et du vitrail. Il est à espérer que l'accès aux « lignes de lumière » de ce grand instrument sera possible et facilité pour les laboratoires du ministère de la Culture qui travaillent sur ces questions. » (Rapport sur les techniques de restauration des œuvres d'art et la protection du patrimoine face aux attaques du vieillissement et des pollutions, Assemblée nationale / Sénat, juin 2006, [11])

L'activité d'IPANEMA se déclinera en 5 axes principaux :

- soutien aux recherches réalisées sur le synchrotron SOLEIL, caractérisations complémentaires d'œuvres et micro-prélèvements du patrimoine culturel, analyses de service
- recherche partenariale en archéométrie, conservation et histoire de l'art
- formation à l'utilisation de méthodes photoniques (sources synchrotron ou classiques)
- soutien au traitement et à l'interprétation des données expérimentales, bases de données professionnelles
- diffusion auprès du grand public et des scolaires

Comme évoqué précédemment, ce projet inclut quatre champs principaux de soutien à la recherche et l'analyse des matériaux du patrimoine :

- archéologie, archéométrie (étude scientifique des objets archéologiques) et paléontologie
- histoire de l'art et des techniques, attribution
- sciences de la conservation et optimisation de traitements de consolidation / restauration
- développement de nouveaux matériaux « archéo-mimétiques » résistants au vieillissement

1.2 Attendus scientifiques et économiques du projet au plan national

Au plan national, les principaux attendus de cette structure sont les suivants :

Soutien aux recherches réalisées sur le synchrotron SOLEIL dans le domaine du patrimoine

Caractérisation complémentaire – Analyses de service En tant que plateforme technique dédiée, IPANEMA aura la capacité de compléter l'offre instrumentale disponible pour les laboratoires du patrimoine, en collaboration avec les centres de référence au niveau national. Cette activité permettra de diffuser au mieux les compétences analytiques par l'intermédiaire de personnel à l'interface entre ces laboratoires et l'Institut.

L'Institut aura pour première mission de permettre la meilleure utilisation possible des installations et lignes de faisceau de SOLEIL. Pour ce faire, il assurera une fonction de soutien des problématiques de recherche en amont de l'expérience synchrotron (préparation d'échantillon), en parallèle (caractérisations complémentaires) et en aval (aide à la reconstruction et à

l'interprétation des données acquises). Ces étapes sont cruciales afin de soutenir le développement de recherches pour une communauté scientifique majoritairement novice en techniques synchrotron. L'Institut participera ainsi à une formation sur place aux utilisateurs qui le souhaiteraient, complémentaire à la venue sur SOLEIL-même, et en optimisant au mieux les demandes de temps de faisceau sur le grand instrument.

Les équipes partenaires de l'Institut demanderont du temps de faisceau à SOLEIL par dépôt de projet auprès du synchrotron. Par cet intermédiaire, l'ensemble des lignes de SOLEIL sera accessible via le comité de programme « Sciences de la Terre, environnement, archéologie et patrimoine », et notamment un ensemble exceptionnel de lignes d'imagerie (infrarouge lointain, infrarouge, ultraviolet, rayons X mous, moyens et durs).

Les études synchrotron seront complétées par des mesures réalisées sur des équipements de pointe sur sources conventionnelles (non-synchrotron) hébergés par l'Institut. La proximité de l'Institut et du synchrotron est un élément déterminant afin de minimiser les contraintes liées au déplacement des œuvres, à leur sécurité, à leur assurance une fois parvenues sur le site. Les instruments conventionnels hébergés par l'Institut s'inscriront dans la continuité et le domaine d'expertise propre à SOLEIL : diffusion de rayons X aux petits angles, tomographie, spectrométries X / infrarouge / UV-visible, microscopies, diffraction, analyses laser, Raman. Certaines de ces méthodes sont de plus en plus accessibles en routine pour la discipline, d'autres ont un caractère nettement novateur.

Afin de pouvoir répondre aux demandes de caractérisation qui ne pourront en aucun cas être assurées par la structure existante de SOLEIL, le projet inclut la construction d'une ligne de caractérisation X sur SOLEIL, simple et versatile (sur aimant de courbure), intitulée « ligne patrimoine ». Celle-ci sera optimisée pour l'analyse de collections entières ou de larges séries d'échantillons, et permettra un accès rapide pour des besoins urgents d'expertise. Il est à noter que l'ajout d'une ligne sur une installation existante se fait à coût marginal, réduit du fait de l'investissement initial, seuls les équipements de la nouvelle ligne étant à prendre en compte.

L'ensemble de ces dispositifs permettra également de supporter les missions de service de laboratoires du Ministère de la Culture et de la Communication et du CNRS, missions auxquelles ils ne peuvent répondre intégralement aujourd'hui du fait de manque de personnels et de certains équipements de caractérisation. Parmi les problématiques majeures, citons l'identification de liants en peinture de chevalet et murale, des pierres, mortiers, bétons et d'objets archéologiques métalliques. L'Institut de recherches archéologiques préventives (INRAP) est envisagé comme partenaire privilégié pour répondre à ses besoins de caractérisation de mobilier archéologique.

Recherche partenariale À ce jour, l'interface patrimoine de SOLEIL s'est impliquée directement dans la mise en place de plusieurs projets de recherche requérant des développements ou un soutien analytique approfondi. Parmi les projets ayant été labellisés, citons :

1. deux projets portant sur l'art rupestre :
 - le groupement de recherche international franco-sud-africain Science, Technologies, Art rupestre, coordonné en France par le synchrotron SOLEIL et le Centre National de Préhistoire (financement : CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, *National Research Foundation* sud-africaine);
 - projet sur la même thématique coordonné par le synchrotron SOLEIL (financement ARCUS : Ministère des Affaires étrangères, Région Île-de-France);
2. un projet lié à la corrosion d'objets ferreux archéologiques :
 - Corrosion multiséculaire des systèmes ferreux complexes (financement : Agence nationale de la recherche);
3. un projet portant sur la conservation du mobilier archéologique :
 - Optimisation de la déchloruration des ferreux archéologiques (financement PNRC : Ministère de la Culture et de la Communication).

Le démarrage en 2006 d'une thèse en cotutelle CNRS Sciences humaines et sociales / SOLEIL (LMC UMR5060 / SOLEIL HALO) illustre également les possibilités de mise en place de projets associant laboratoire et centre d'analyse, lorsque des développements analytiques importants sont attendus.

L'activité de recherche partenariale de l'Institut devra permettre le développement à moyen terme de nouvelles thématiques pour des équipes hébergées bénéficiant d'un soutien financier extérieur à l'Institut. IPANEMA mettra à leur disposition une expertise rigoureuse sur les méthodes synchrotron de SOLEIL et d'autres centres synchrotron et lasers européens. Ces équipes auront accès à l'ensemble des méthodes de caractérisation complémentaire disponibles sur place.

Formation En décembre 2004, SOLEIL a organisé la première école européenne (une première au niveau international) consacrée à l'étude de matériaux anciens par méthodes synchrotron. Cette opération, exécutée et financée dans le cadre du réseau européen de recherche COST action G8 a connu un vif succès (*rapport disponible sur simple demande*). L'édition suivante se tiendra en mars 2007 à SOLEIL. En 2004, l'abondance de candidatures (87 pour 25 places prévues initialement) et leur origine internationale (36% de candidatures extra-européennes) montrent l'intérêt et le rayonnement attendus d'un cycle de formation permanente spécifiquement à destination des spécialistes de l'étude et de la conservation du patrimoine.

À terme, d'autres formations seront mises en place, dépassant le cadre des techniques synchrotron pour inclure l'ensemble des méthodes photoniques. Celles-ci pourraient être développées en association avec le Master «Conservation et restauration des biens culturels» de

l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne, à ce jour la seule formation universitaire dédiée à la conservation – restauration en France, les formations d'archéologie / archéométrie des universités et l'Institut national du patrimoine (formation des conservateurs du patrimoine).

IPANEMA s'investira également dans des enseignements à l'étranger, dans la continuité des cours données par l'interface patrimoine de SOLEIL : *Cours d'étude en sciences chimiques pour la conservation du patrimoine* de l'université Ca' Foscari (Venise, Italie), *Synchrotron masterclass for cultural heritage* (Daresbury, Angleterre), etc.

Soutien au traitement et à l'interprétation des données

Développement de bases de données professionnelles L'analyse des données acquises est une étape-clé généralement peu soutenue au niveau des installations synchrotron du fait du manque de personnel prévu à cet effet et de la pression constante des expériences sur les lignes de faisceau. IPANEMA inclura donc une activité de soutien à l'analyse de données acquises sur les lignes de SOLEIL et sur les équipements de caractérisation complémentaire. Dans ce cadre, il sera nécessaire de prévoir le développement de modules de logiciels de traitement de données afin de compléter l'existant et l'adapter aux besoins d'étude de matériaux très hétérogènes. Ces développements se feront en interaction forte avec SOLEIL et les laboratoires partenaires, en prenant compte des développements actuels en imagerie dans d'autres secteurs de recherche (environnement, santé).

En outre, afin de disséminer les résultats acquis dans le cadre d'IPANEMA et contribuer à asseoir sa notoriété, ce projet prévoit une diffusion publique des actions menées et des bases de données spectroscopiques de référence via internet, à l'image des initiatives du *Getty Conservation Institute* (Los Angeles, USA).

Diffusion auprès du grand public et des scolaires Les thématiques patrimoniales se prêtent particulièrement bien à leur dissémination auprès du grand public. Elles illustrent l'intérêt d'une recherche pluridisciplinaire de pointe dans un ensemble de disciplines : physique, chimie, sciences des matériaux, informatique, et bien sûr sciences humaines. Le contexte culturel est généralement considéré comme plus accessible que les applications issues directement de certains de ces domaines de connaissance.

Depuis 2004, l'interface patrimoine de SOLEIL a développé plusieurs opérations de communication à large échelle, notamment :

1. la réalisation d'une exposition à l'occasion des journées européennes du patrimoine de 2004 (C2RMF / SOLEIL) avec circulation itinérante (plusieurs milliers de visiteurs dans une quinzaine de villes en France).
2. la préparation d'une exposition sur les fouilles du plateau de Saclay (SOLEIL / Institut national de recherches archéologiques préventives, décembre 2006), mettant en valeur

le développement des nouvelles techniques de micro-analyse et de conservation du mobilier archéologique.

Le site d'IPANEMA réservera un espace simple, mais permanent d'exposition et de séminaires afin de mettre en valeur les travaux effectués à l'interface sciences dures / sciences humaines dans l'Institut et les laboratoires partenaires. Celui-ci sera accessible au grand public et aux scolaires.

1.3 Place du projet dans le contexte national et européen

Institut Photonique d'Analyse Non-destructive Européen des Matériaux Anciens (IPANEMA)

Il est fondamental de souligner que l'Europe est fortement en avance dans le domaine de l'étude synchrotron des matériaux du patrimoine. Plus de 80% des publications jamais publiées dans le domaine est le produit de travaux réalisés sur des sources situées en Europe. La France contribue considérablement à ces travaux avec 62% des travaux européens provenant de synchrotrons en France. Ces chiffres impressionnants sont dus à l'engagement volontariste de chercheurs des sources synchrotron du LURE (aujourd'hui remplacé par SOLEIL) et de l'ESRF (Grenoble). Le caractère atypique de l'expertise française dans le domaine mérite d'être souligné.

Sans que cela ait jamais constitué le cœur de leur activité, les réseaux européens œuvrant à l'étude des objets du patrimoine ont abordé et soutenu des activités synchrotron (LabsTech, EU-Artech, COST action G8...).

La création de l'interface patrimoine HALO de SOLEIL constitue une première au niveau international à cette échelle. En effet, le seul projet comparable développé dans le monde, l'*Archaeometry Unit* du synchrotron anglais SRS (E. Pantos) doit irrémédiablement prendre fin du fait de la fermeture progressive de ce synchrotron sur la période 2005–2008. Le nouveau synchrotron anglais, DIAMOND, centré sur la biologie moléculaire, ne peut poursuivre cette activité. Les développements en Angleterre et en France ont suscité de nombreuses actions récentes, parmi lesquelles citons :

- les colloques internationaux *SR in Archaeometry*, Daresbury laboratory, Royaume-Uni, novembre 1999 (E. Pantos) ; *SR in Art and Archaeology* (SR2A 2000), Stanford Synchrotron Radiation Laboratory, Palo Alto, Californie, octobre 2000 (N. Pingitore et al.) ; *SR2A 2005*, European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, février 2005 (J. Susini, E. Dooryhée, avec la participation de SOLEIL) ; *Research Infrastructures in Cultural Heritage*, Trieste, Italie, décembre 2005 ; *SR2A 2006*, synchrotron BESSY, Berlin, septembre 2006...
- les formations *New Lights on Ancient Materials 2004*, SOLEIL, décembre 2004 ; *SRS synchrotron masterclass for cultural heritage*, Daresbury, Royaume-Uni, octobre 2005 et celles

à venir : *New Lights on Ancient Materials* 2007, SOLEIL, mars 2007; *HERCULES specialised course for cultural heritage*, ESRF, octobre 2007 (formation coorganisée par SOLEIL). Notons également qu'afin de progresser vers la mise au point d'activités communes, un contrat cadre est actuellement à l'étude entre le synchrotron SOLEIL et le Ministère de la Culture et de la Communication.

La plupart de ces activités se sont déroulées dans une poignée de pays européens (France, Royaume-Uni, Allemagne, Italie) possédant un patrimoine culturel particulièrement riche et diversifié, et concernés en première ligne par les problèmes liés à son étude et sa conservation. Néanmoins, la plupart des sources de rayonnement synchrotron se trouvent confrontées à une organisation interne ne leur permettant pas de développer significativement un projet à destination d'une communauté scientifique particulière qui pourrait s'exercer aux dépens d'autres utilisateurs. Ainsi, à l'exception de SOLEIL, toutes les sources interrogées nous ont confirmé ne pas avoir la possibilité de s'impliquer plus fortement à cette interface.

La mise en place d'IPANEMA contribuera à renforcer l'implication de la France dans le domaine de la recherche sur le patrimoine et l'archéologie, en renforçant les synergies existantes.

Le développement d'un Institut d'étude des matériaux anciens sur le site du synchrotron SOLEIL constitue par conséquent une véritable niche d'opportunités scientifiques, à court terme envisageable uniquement sur le territoire francilien.

1.4 Intérêt de cette opération au plan local et pour la région; identification des impacts socio-économiques

Le Plateau de Saclay est un secteur en plein essor du fait de l'implantation récente et programmée de nombreux organismes de recherche, publics et privés, et de PME de haute technologie. Ce développement est consolidé par de nombreuses opérations institutionnelles depuis l'Opération d'Intérêt National jusqu'à la mise en place des pôles de compétitivité Medicen Paris Region et System@tic et du RTRA Triangle de la Physique.

Le développement d'IPANEMA contribuera à structurer les efforts effectués par un grand nombre de laboratoires franciliens en leur faisant bénéficier d'un soutien analytique, des équipements de la plateforme analytique et d'une formation sur le terrain essentielle à la discipline.

Côté laboratoires, les acteurs majeurs du domaine (notamment ceux à compétence nationale) sont localisés en Île-de-France et un nombre important à proximité immédiate de SOLEIL : Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH, Champs-sur-Marne), Maison René Ginouvès de l'Archéologie et de l'Ethnologie (Nanterre), Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF, Paris), Institut national de recherche archéologique préventive (Inrap France, Inrap Centre – Île-de-France), Laboratoire de mesure

du carbone 14 (Saclay), groupe archéomatériaux du laboratoire Pierre Süe (Saclay), Laboratoire de science du climat et de l'environnement (Gif-sur-Yvette), Centre national de la préhistoire (Paris, Périgueux), Centre de recherche sur la conservation des documents graphiques (CRCDG, Paris), Bibliothèque nationale de France (BNF, Paris).

Au niveau local et régional, IPANEMA contribuera ainsi à jouer un rôle fédérateur vis-à-vis de ces laboratoires et centres de recherche, en étroite relation avec les acteurs du plateau de Saclay : synchrotron SOLEIL, faculté et IUT d'Orsay, école Polytechnique, Direction des sciences de la matière du CEA, Institut d'optique, etc. Il s'agit d'une opportunité exceptionnelle pour un Institut œuvrant pour les sciences de l'homme et de la société de bénéficier au plus près du développement, de la mise en réseau des activités de recherche et de la visibilité du plateau de Saclay.

Le projet IPANEMA n'est pas directement à finalité commerciale, néanmoins, une extension de ses activités de formation peut être envisagée en ce sens. Il est également à prévoir que les recherches appliquées à la conservation des matériaux (lutte contre la corrosion, matériaux résistants au vieillissement) pourront entraîner le dépôt de brevets. Enfin, l'activité «logiciel» pourrait avoir un volet commercial pour les utilisateurs non académiques.

Par leur nature, les opérations touchant au patrimoine culturel jouissent d'une grande visibilité aux niveaux national et européen. La diffusion des activités d'IPANEMA aux différents publics (y compris le grand public, les scolaires et les institutionnels) est présente dès la création du projet.

References

- [1] C. Drigny-Meriel. *Bilan tourisme 2005*. 128. INSEE, Direction du tourisme, Comité régional du tourisme, Aug. 2006.
- [2] N. Salvadó et al. "Identification of copper-based green pigments in Jaume Huguet's Gothic altarpieces by Fourier transform infrared microspectroscopy and synchrotron radiation X-ray diffraction." In: *Journal of Synchrotron Radiation* 9.4 (July 1, 2002), pp. 215–222. DOI: 10.1107/S0909049502007859.
- [3] Nati Salvadó et al. "Advantages of the Use of SR-FT-IR Microspectroscopy: Applications to Cultural Heritage." In: *Analytical Chemistry* 77.11 (June 1, 2005), pp. 3444–3451. DOI: 10.1021/aco50126k.
- [4] D. Neff et al. "Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: characterisation of the corrosion system." In: *Corrosion Science* 47.2 (Feb. 2005), pp. 515–535. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.05.029.

- [5] S. Reguer et al. “Investigation of Cl corrosion products of iron archaeological artefacts using micro-focused synchrotron X-ray absorption spectroscopy.” In: *Applied Physics A* 83.2 (May 2006), pp. 189–193. DOI: 10.1007/s00339-006-3506-3.
- [6] Magnus Sandström et al. “Deterioration of the seventeenth-century warship Vasa by internal formation of sulphuric acid.” In: *Nature* 415.6874 (Feb. 2002), pp. 893–897. DOI: 10.1038/415893a.
- [7] Magnus Sandström et al. “Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII’s warship *Mary Rose* : A pathway in the sulfur cycle of conservation concern.” In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102.40 (Oct. 4, 2005), pp. 14165–14170. DOI: 10.1073/pnas.0504490102.
- [8] L. Bertrand. “Chapter 2 Synchrotron Imaging for Archaeology, Art History, Conservation, and Palaeontology.” In: *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage*. Vol. 2. Elsevier, 2007, pp. 97–114. DOI: 10.1016/S1871-1731(07)80004-2.
- [9] L. Bertrand, D. Vantelon, and E. Pantos. “Novel interface for cultural heritage at SOLEIL.” In: *Applied Physics A* 83.2 (May 2006), pp. 225–228. DOI: 10.1007/s00339-006-3514-3.
- [10] Loïc Bertrand and Philippe Dillmann. “Synchrotron et archéométrie: Compte rendu de table ronde.” In: *ArchéoSciences* 29 (Dec. 31, 2005), pp. 169–171. DOI: 10.4000/archeosciences.709.
- [11] Christian Kert. *Rapport sur les techniques de restauration des oeuvres d’art et la protection du patrimoine face aux attaques du vieillissement et des pollutions*. Assemblée nationale n°3167 / Sénat n°405. Office parlementaire d’évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2006.
- [12] Loïc Bertrand. “SOLEIL and COST organised the first training school on the synchrotron analysis of ancient materials.” In: *Non-destructive analysis and testing of museum objects*. Fraunhofer IRB Verlag, 2006, pp. 212–215.
- [13] Patrick Aracil. *Rapport relatif à la protection et valorisation du patrimoine en Île-de-France*. 2004-06. Conseil économique et social d’Île-de-France, Oct. 2004.
- [14] Claude Pétry. *Schéma directeur de la recherche en sciences humaines dans les musées nationaux 2005-2008*. Ministère de la culture et de la Communication, Direction des musées de France, Feb. 2005.

2 IPANEMA project, English version

Authors: Loïc Bertrand, Jean Doucet

October 2006

2.1 Scientific description

Cultural heritage is a source of knowledge, sharing and fulfilment. Although its impact is often underestimated, it plays a key role in the French economy, particularly through the country's tourism industry, which is the world's leading tourist destination. The Île-de-France region itself is the country's leading tourist destination. Of the 10 most-visited tourist sites in the Paris region in 2005, 9 were cultural heritage sites. These sites attracted more than 52 million visitors over the year [1].

Heritage, a social priority In the future, heritage could play a “major role in local development and improving the quality of life (regional planning, town planning, tourism) and a source of personal and collective fulfilment” (*Synthèse du rapport relatif à la protection et valorisation du patrimoine en Ile-de-France*, Conseil économique et social d'Île-de-France, October 2004). Nevertheless, as indicated in the Master Plan for Research in the Human Sciences in National Museums 2005-2008 (Ministère de la culture – Direction des musées de France, February 2005), “knowledge of works, whether for their proper conservation, the extension of collections or their enhancement, means intense research activity. Identifying and better supporting research is therefore a strategic challenge for the future of museums”. This challenge extends to the entire heritage sector: archaeology, palaeontology, archives, art history, etc. As part of the European FP7 currently being launched, the conservation of cultural heritage objects is placed in the broader context of sustainable development, at a time when worsening air and soil pollution are accelerating the deterioration of works of art, archaeological sites and monuments. As such, the study of heritage materials constitutes a real *social priority*.

Complex and heterogeneous heritage materials This research requires in-depth scientific study of the materials that make up the objects, works and monuments. In addition to studying the context of the objects, their style and ancient sources, it is necessary to understand the techniques used to make them, the processes that lead to their alteration over time, and to make an informed choice about which objects to preserve. However, ancient materials, most of which are handmade from natural ingredients and sometimes severely altered by long-term ageing, pose a challenge to our current scientific knowledge because of their heterogeneity at all scales. The physico-chemistry of the systems under consideration is often particularly complex: organic and mineral compounds, their mixtures, and products of alteration and interaction need to be understood. Art materials are often treated and modified

to play with their visible appearance, which is itself strongly affected by their microscopic texture. Beyond the complexity of the materials themselves, these developments require the convergence of many related disciplines in the human sciences, as well as physics, chemistry, biology, engineering, the environment and the earth sciences.

A fast-growing field In addition to topographic imaging and the determination of composition, chemical selectivity of experiments is required in order to achieve a satisfactory understanding of heritage materials. This work is undergoing significant development, driven by the new possibilities offered by large-scale instruments (synchrotron, ion beam) and portable instrumentation. There are many examples of the application of synchrotron radiation to heritage (nearly 250 publications). Among the most important are three. Synchrotron microbeams are increasingly used to identify (by X-ray micro-diffraction and absorption) the nature, manufacturing processes and alteration of pigments in the stratigraphy of pictorial layers that may be only a few micrometres thick [2, 3]. Synchrotron microanalysis methods for ferrous archaeological artefacts are making it possible to clarify the chain of operations involved in their production, to monitor the spread of metallurgical techniques in Europe, and also to better control the conservation of artefacts [4, 5]. The combination of X-ray micro-fluorescence and X-ray micro-absorption methods has made it possible to understand the processes leading to the degradation of waterlogged wood from ancient shipwrecks, resulting in the treatment of entire ships [6, 7]. Synchrotron methods (fluorescence, diffraction, absorption, microscopy, X-ray tomography, infrared microscopy, UV imaging) complement laboratory methods when finer resolution, quantitative data and/or precise chemical selectivity in imaging are required. These methods can be applied non-destructively to both micro-samples and whole objects. The data accumulated by the LabsTech (FP5, 1999–2002) and EU-Artech (FP6, 2004–2008) projects show that laboratories working on the analysis of museum objects make extensive use of spectroscopy and photonic imaging methods (infrared spectroscopy, X-ray diffraction and fluorescence, radiography). It is therefore understandable that these same methods, although mainly used in micro-beam mode, are also used in published work employing synchrotron analysis. There is also a strong use of X-ray absorption, a method that is almost exclusively available on synchrotron sources [8–10].

Unmet analytical needs Nevertheless, the testimonies gathered from more than sixty teams consulted in Europe showed us their low degree of satisfaction with the practical implementation of synchrotron methods. Three points are constantly highlighted: 1) the lack of support for non-expert users of these techniques, 2) the fact that ‘textbook cases’ (studies of key objects taken out of context), which are sometimes of little use to professionals, are systematically favoured by the large instruments, 3) the impossibility of developing studies on statistical series, studies that are redundant but necessary for archaeometry as well as art history. To meet

these needs, in 2004, SOLEIL launched an interface dedicated to heritage and archaeology, called HALO (Heritage and Archaeology Liaison Office). HALO has developed three areas in particular: setting up a selection committee for “Earth sciences, environment, archaeology and heritage” projects, direct support for users in preparing their projects on SOLEIL, and training initiatives dedicated to the use of synchrotron radiation for heritage.

IPANEMA, a support platform for heritage players However, at the start of SOLEIL, it appears that an internal SOLEIL group will not be sufficient to meet the demand from users in the heritage community. In addition, the internal structure of SOLEIL and other synchrotrons at international level, instruments serving numerous scientific communities, does not allow any one community to be favoured over another, and therefore precludes a major extension of these activities within the synchrotron². HALO is also very much in demand for analysis requests that do not require synchrotron radiation. The aim of the project presented here is to set up an analytical platform dedicated to the study of heritage objects, backed by the SOLEIL synchrotron, subsequently entitled IPANEMA for *Institut Photonique d'Analyse Non-destructive Européen des Matériaux Anciens*. It will support existing structures specialising in the study of heritage, in particular for technical development and service activities which they can only imperfectly respond to due to their daily workload. This platform is structurally designed to complement the range of techniques available to these structures and in no way competes with the activities they carry out. The platform is therefore the fruit of synergies with a large number of players in the Île-de-France region, but also at national and European level.

IPANEMA's activities will focus on 5 main areas:

- support for research carried out at the SOLEIL synchrotron, additional characterisation of works of art and micro-sampling of cultural heritage, service analyses, etc.
- partnership research in archaeometry, conservation and art history
- training in the use of photonic methods (synchrotron or conventional sources)
- support for processing and interpreting experimental data, professional databases
- dissemination to the general public and schoolchildren

²See also this extract from the report by the MP Christian KERT from OPECST: “This problem [browning of medieval stained glass windows] would require a sustained research effort, with the implementation of cutting-edge methods such as synchrotron radiation. The construction of the Soleil synchrotron, one of whose aims is to work on heritage-related themes, is an opportunity to develop cutting-edge research into ancient glass and stained glass. It is to be hoped that access to the ‘lines of light’ of this large instrument will be possible and facilitated for the laboratories of the Ministry of Culture working on these issues”. (Report on techniques for restoring works of art and protecting heritage from the effects of ageing and pollution, National Assembly/Senate, June 2006, [11])

As mentioned above, this project includes four main areas of support for research and analysis of heritage materials:

- archaeology, archaeometry (scientific study of archaeological objects) and palaeontology
- history of art and technology, attribution
- conservation sciences and optimisation of consolidation/restoration treatments
- development of new “archaeo-mimetic” materials resistant to ageing

2.2 Scientific and economic benefits of the project at national level

At national level, the main expectations of this structure are as follows:

Support for heritage research at the SOLEIL synchrotron

Additional characterisation – Service analyses As a dedicated technical platform, IPANEMA will be able to supplement the range of instruments available to heritage laboratories, in collaboration with national reference centres. This activity will enable analytical skills to be disseminated as effectively as possible via staff at the interface between these laboratories and the Institute.

The Institute’s primary mission will be to ensure the best possible use of SOLEIL’s facilities and beamlines. To do this, it will provide support for research problems upstream of the synchrotron experiment (sample preparation), in parallel (complementary characterisations) and downstream (assistance with the reconstruction and interpretation of the data acquired). These stages are crucial in supporting the development of research for a scientific community that is largely new to synchrotron techniques. The Institute will therefore be helping to provide on-site training for users who so wish, as a complement to their access to SOLEIL itself, and to optimise requests for beamtime on the large instrument.

The Institute’s partner teams will request beamtime from SOLEIL by submitting a synchrotron proposal. Through this intermediary, all of SOLEIL’s beamlines will be accessible via the “Earth Sciences, Environment, Archaeology and Heritage” programme committee, in particular an exceptional set of imaging beamlines (far infrared, infrared, ultraviolet, soft, medium and hard X-rays).

The synchrotron experiments will be supplemented by measurements carried out on state-of-the-art equipment on conventional (non-synchrotron) sources hosted by the Institute. The proximity of the Institute and the synchrotron is a decisive factor in minimising the constraints associated with moving works, their security and insurance once on site. The conventional instruments housed at the Institute will be in line with SOLEIL’s own areas of expertise

and continuity: small-angle X-ray scattering, tomography, X-ray / infrared / UV-visible spectrometry, microscopy, diffraction, laser analysis and Raman. Some of these methods are increasingly accessible on a routine basis for the discipline, while others are clearly innovative.

In order to be able to respond to characterisation requests that cannot be met by SOLEIL's existing structure, the project includes the construction of a simple and versatile X-ray characterisation beamline at SOLEIL (on a bending magnet), called the "heritage beamline". It will be optimised for the analysis of entire collections or large series of samples, and will provide rapid access for urgent expert needs. It should be noted that adding a beamline to an existing installation is done at marginal cost, reduced by the initial investment, with only the equipment of the new beamline to be taken into account.

All of these measures will also help to support the service missions of the laboratories of the Ministry of Culture and Communication and the CNRS, missions that they cannot fully meet today due to a lack of staff and certain characterisation equipment. Among the major problems are the identification of binders in easel and mural paintings, stones, mortars, concretes and metallic archaeological objects. The Institut de recherches archéologiques préventives (INRAP) is being considered as a preferred partner to meet its characterisation needs for archaeological finds.

Partnership research To date, SOLEIL's heritage interface has been directly involved in setting up several research projects requiring development or in-depth analytical support. These projects include

1. Two rock art projects:

- the international Franco–South African research group Science, Technologies, Rock Art, coordinated in France by the SOLEIL synchrotron and the Centre National de Préhistoire (funding: CNRS, Ministry of Culture and Communication, South African National Research Foundation);
- project on the same theme coordinated by the SOLEIL synchrotron (ARCUS funding: Ministry of Foreign Affairs, Île-de-France Region);

2. A project linked to the corrosion of archaeological ferrous objects:

- Multisecular corrosion of complex ferrous systems (funding: Agence nationale de la recherche);

3. A project to conserve archaeological objects:

- Optimisation of the dechlorination of archaeological ferrous materials (PNRC funding: Ministry of Culture and Communication).

The start in 2006 of a thesis jointly supervised by the CNRS Human and Social Sciences and SOLEIL (LMC UMR5060 / SOLEIL HALO) also illustrates the possibilities of setting up projects involving a laboratory and an analysis centre, when major analytical developments are expected.

The Institute's partnership research activity should enable the development in the medium term of new themes for hosted teams benefiting from financial support from outside the Institute. IPANEMA will provide them with rigorous expertise in synchrotron methods at SOLEIL and other European synchrotron and laser centres. These teams will have access to all the complementary characterisation methods available on site.

Training In December 2004, SOLEIL organised the first European school (a first at international level) devoted to the study of ancient materials using synchrotron methods. This operation, carried out and funded as part of the COST action G8 European research network, was a great success (report available on request). The next edition will be held in March 2007 at SOLEIL. In 2004, the large number of applications (87 for the 25 places initially planned) and their international origin (36% from outside Europe) demonstrated the interest and influence expected from a continuing education course specifically aimed at specialists in the study and conservation of heritage.

Eventually, other training courses will be set up that go beyond synchrotron techniques to include all photonic methods. These could be developed in association with the Master's degree in "Conservation and Restoration of Cultural Property" at the University of Paris I Panthéon-Sorbonne, currently the only university course dedicated to conservation-restoration in France, archaeology/archaeometry courses at universities and the Institut National du Patrimoine (training for heritage conservators).

IPANEMA will also be involved in teaching abroad, following on from the courses given by SOLEIL's heritage interface: *Study course in chemical sciences for heritage conservation* at Ca' Foscari University (Venice, Italy), *Synchrotron masterclass for cultural heritage* (Daresbury, England), etc.

Support for data processing and interpretation

Development of professional databases The analysis of the data acquired is a key stage that is generally poorly supported at synchrotron facilities, due to the lack of staff allocated for this purpose and the constant pressure of experiments on the beamlines. IPANEMA will therefore include an activity to support the analysis of data acquired on the SOLEIL lines and on complementary characterisation equipment. In this context, it will be necessary to plan the development of data processing software modules to complement the existing software and adapt it to the needs of studying highly heterogeneous materials. These developments will be carried out in close collaboration with SOLEIL and partner laboratories, taking into account

current developments in imaging in other research sectors (environment, health).

In addition, in order to disseminate the results obtained under IPANEMA and help establish its reputation, the project plans to make the work carried out and the reference spectroscopic databases available to the public via the Internet, in the same way as the Getty Conservation Institute (Los Angeles, USA).

Dissemination to the general public and schools Heritage themes lend themselves particularly well to dissemination to the general public. They illustrate the value of cutting-edge multidisciplinary research in a range of disciplines: physics, chemistry, materials science, computer science and, of course, the humanities. The cultural context is generally considered to be more accessible than the applications arising directly from some of these fields of knowledge.

Since 2004, SOLEIL's heritage interface has developed a number of large-scale communication operations, including :

1. the production of an exhibition for the 2004 European Heritage Days (C2RMF / SOLEIL) with touring circulation (several thousand visitors in some fifteen towns in France).
2. the preparation of an exhibition on the excavations on the Saclay plateau (SOLEIL / Institut national de recherches archéologiques préventives, December 2006), highlighting the development of new techniques for microanalysis and conservation of archaeological material.

The IPANEMA site will provide a simple but permanent exhibition and seminar space to showcase the work carried out at the interface between the hard sciences and the humanities in the Institute and its partner laboratories. It will be open to the general public and schoolchildren.

2.3 Place of the project in the national and European context

Institut Photonique d'Analyse Non-destructive Européen des Matériaux Anciens (IPANEMA)

It is essential to stress that Europe is well ahead in the field of synchrotron studies of heritage materials. More than 80% of the publications ever issued in this field are the result of work carried out on sources located in Europe. France is making a considerable contribution to this work, with 62% of European work coming from synchrotrons in France. These impressive figures are due to the proactive involvement of researchers from the synchrotron sources at LURE (now replaced by SOLEIL) and ESRF (Grenoble). The atypical nature of French expertise in this field deserves to be highlighted.

Although it has never constituted the core of their activity, European networks working on the study of heritage objects have addressed and supported synchrotron activities (LabsTech, EU-Artech, COST action G8...).

The creation of the HALO heritage interface at SOLEIL is an international first on this scale. In fact, the only comparable project developed in the world, the *Archaeometry Unit* at the UK synchrotron SRS (E. Pantos), is due to come to an irreversible end due to the gradual closure of this synchrotron over the period 2005–2008. The new UK synchrotron, DIAMOND, which focuses on molecular biology, cannot continue this activity. Developments in the UK and France have given rise to a number of recent initiatives, including the following:

- the international colloquia *SR in Archaeometry*, Daresbury laboratory, United Kingdom, November 1999 (E. Pantos); *SR in Art and Archaeology* (SR2A 2000), Stanford Synchrotron Radiation Laboratory, Palo Alto, California, October 2000 (N. Pingitore et al.); *SR2A 2005*, European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, February 2005 (J. Susini, É. Dooryhée, with the participation of SOLEIL); *Research Infrastructures in Cultural Heritage*, Trieste, Italy, December 2005; *SR2A 2006*, BESSY synchrotron, Berlin, September 2006.
- training courses *New Lights on Ancient Materials* 2004, SOLEIL, December 2004; *SRS synchrotron masterclass for cultural heritage*, Daresbury, United Kingdom, October 2005 and those to come: *New Lights on Ancient Materials* 2007, SOLEIL, March 2007; *HERCULES specialised course for cultural heritage*, ESRF, October 2007 (course co-organised by SOLEIL). It should also be noted that in order to progress towards the development of joint activities, a framework agreement is currently being studied between the SOLEIL synchrotron and the French Ministry of Culture and Communication.

Most of these activities have taken place in a handful of European countries (France, the United Kingdom, Germany and Italy), which have a particularly rich and diverse cultural heritage and are the front line in the problems associated with studying and preserving it. However, most of the synchrotron light sources are internally organised in such a way that they cannot significantly develop a project aimed at a particular scientific community, which could be at the expense of other users. Thus, except for SOLEIL, all the sources interviewed confirmed that they were unable to become more involved at this interface.

The creation of IPANEMA will help to strengthen France's involvement in the field of heritage and archaeological research, by reinforcing existing synergies.

The development of an institute for the study of ancient materials on the site of the SOLEIL synchrotron therefore represents a real niche of scientific opportunity, which in the short term can only be envisaged in the Paris region.

2.4 Interest of this operation locally and for the region; identification of socio-economic impacts

The Plateau de Saclay is a fast-growing area thanks to the recent and planned establishment of numerous public and private research bodies and high-tech SMEs. This development has been consolidated by a number of institutional initiatives, from the Opération d'Intérêt National to the establishment of the Medicen Paris Region and System@tic competitiveness clusters and the RTRA Triangle de la Physique.

The development of IPANEMA will help to structure the efforts made by numerous laboratories in the Paris region by providing them with analytical support, the equipment of the analytical platform and the field training essential to the discipline.

As far as laboratories are concerned, the major players in the field (particularly those with national competence) are located in the Île-de-France region, with a significant number in the immediate vicinity of SOLEIL: Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH, Champs-sur-Marne), Maison René Ginouvès de l'Archéologie et de l'Ethnologie (Nanterre), Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF, Paris), Institut national de recherche archéologique préventive (Inrap France, Inrap Centre – Île-de-France), Laboratoire de mesure du carbone 14 (Saclay), Groupe archéomatériaux du laboratoire Pierre Süe (Saclay), Laboratoire de science du climat et de l'environnement (Gif-sur-Yvette), Centre national de la préhistoire (Paris, Périgueux), Centre de recherche sur la conservation des documents graphiques (CRCDG, Paris), Bibliothèque nationale de France (BNE, Paris).

At local and regional level, IPANEMA will play a unifying role in relation to these laboratories and research centres, working closely with the players on the Saclay plateau: the SOLEIL synchrotron, the Orsay faculty and IUT, the École Polytechnique, the CEA's Department of Matter Sciences, the Optics Institute, etc. This is an exceptional opportunity for an institute working in the human and social sciences to benefit as closely as possible from the development and networking of research activities and the visibility of the Saclay plateau.

The IPANEMA project does not have a direct commercial objective, although an extension of its training activities could be envisaged. It is also expected that the research applied to the conservation of materials (corrosion control, ageing-resistant materials) could lead to the filing of patents. Finally, the 'software' activity could have a commercial component for non-academic users.

By their very nature, cultural heritage operations enjoy a high profile at national and European level. The dissemination of IPANEMA's activities to a wide range of audiences (including the general public, schoolchildren and institutions) has been part of the project from the outset.

References

- [1] C. Drigny-Meriel. *Bilan tourisme 2005*. 128. INSEE, Direction du tourisme, Comité régional du tourisme, Aug. 2006.
- [2] N. Salvadó et al. "Identification of copper-based green pigments in Jaume Huguet's Gothic altarpieces by Fourier transform infrared microspectroscopy and synchrotron radiation X-ray diffraction." In: *Journal of Synchrotron Radiation* 9.4 (July 1, 2002), pp. 215–222. DOI: 10.1107/S0909049502007859.
- [3] Nati Salvadó et al. "Advantages of the Use of SR-FT-IR Microspectroscopy: Applications to Cultural Heritage." In: *Analytical Chemistry* 77.11 (June 1, 2005), pp. 3444–3451. DOI: 10.1021/ac050126k.
- [4] D. Neff et al. "Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: characterisation of the corrosion system." In: *Corrosion Science* 47.2 (Feb. 2005), pp. 515–535. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.05.029.
- [5] S. Reguer et al. "Investigation of Cl corrosion products of iron archaeological artefacts using micro-focused synchrotron X-ray absorption spectroscopy." In: *Applied Physics A* 83.2 (May 2006), pp. 189–193. DOI: 10.1007/s00339-006-3506-3.
- [6] Magnus Sandström et al. "Deterioration of the seventeenth-century warship Vasa by internal formation of sulphuric acid." In: *Nature* 415.6874 (Feb. 2002), pp. 893–897. DOI: 10.1038/415893a.
- [7] Magnus Sandström et al. "Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII's warship *Mary Rose* : A pathway in the sulfur cycle of conservation concern." In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102.40 (Oct. 4, 2005), pp. 14165–14170. DOI: 10.1073/pnas.0504490102.
- [8] L. Bertrand. "Chapter 2 Synchrotron Imaging for Archaeology, Art History, Conservation, and Palaeontology." In: *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage*. Vol. 2. Elsevier, 2007, pp. 97–114. DOI: 10.1016/S1871-1731(07)80004-2.
- [9] L. Bertrand, D. Vantelon, and E. Pantos. "Novel interface for cultural heritage at SOLEIL." In: *Applied Physics A* 83.2 (May 2006), pp. 225–228. DOI: 10.1007/s00339-006-3514-3.
- [10] Loïc Bertrand and Philippe Dillmann. "Synchrotron et archéométrie: Compte rendu de table ronde." In: *ArchéoSciences* 29 (Dec. 31, 2005), pp. 169–171. DOI: 10.4000/archeosciences.709.
- [11] Christian Kert. *Rapport sur les techniques de restauration des oeuvres d'art et la protection du patrimoine face aux attaques du vieillissement et des pollutions*. Assemblée nationale n°3167 / Sénat n°405. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2006.

- [12] Loïc Bertrand. "SOLEIL and COST organised the first training school on the synchrotron analysis of ancient materials." In: *Non-destructive analysis and testing of museum objects*. Fraunhofer IRB Verlag, 2006, pp. 212–215.
- [13] Patrick Aracil. *Rapport relatif à la protection et valorisation du patrimoine en Île-de-France*. 2004-06. Conseil économique et social d'Île-de-France, Oct. 2004.
- [14] Claude Pétry. *Schéma directeur de la recherche en sciences humaines dans les musées nationaux 2005-2008*. Ministère de la culture et de la Communication, Direction des musées de France, Feb. 2005.