

octobre 2016

Un regard sur les laboratoires en Centre Limousin Poitou-Charentes

Hors-série

2016

microscop

le magazine de la délégation CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes



EXOBILOGIE
L'Europe se prépare au retour
d'échantillons extraterrestres



PALEONTOLOGIE
La topographie 3D pour mieux
comprendre l'évolution des
dents de primate



MATERIAUX
Des biocéramiques
aux vertus réparatrices

> *Dossier spécial*
ONDES GRAVITATIONNELLES

cnrs

www.dr8.cnrs.fr

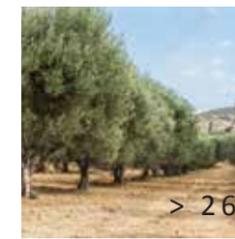
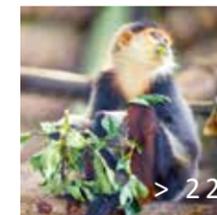
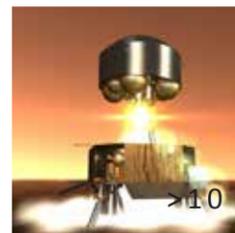
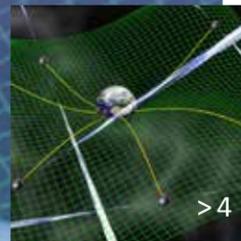
microscop

octobre 2016

Hors-série
2016



Photos couverture :
Arrière-plan : Espace-temps déformé par des ondes gravitationnelles.
© David CHAMPION
Zoom : Schéma d'une étoile à neutrons fortement magnétisée. © Wikimedia



Agenda

Colloques

VII^{èmes} JOURNÉES INTERNATIONALES DE LA MICROFINANCE

Les frontières de la microfinance.
24 et 26 avril 2017 > Univ. Gaston Berger de Saint-Louis (SÉNÉGAL)
<http://www.leo-univ-orleans.fr/fr/>

EUROPEAN FUEL CELL CAR WORKSHOP

L'excellence de la recherche et de l'innovation dans le domaine de l'hydrogène pour les transports.
1-3 mars 2016 > ORLÉANS
<http://efcw2017.sciencesconf.org>

Manifestations

SEMAINE DE L'INSERTION PROFESSIONNELLE

Conférences et ateliers, visite d'entreprise, forum dédié aux métiers de la musique, un ciné-débat...
19-25 nov. 2016 > TOURS
<http://sip.univ-tours.fr/>

FORUM D'ORIENTATION

5-6-7 janv. 2017 > Orléans
Parc des expositions

Astrophysique

Ondes gravitationnelles :
100 ans d'histoire et de physique > 4

Exobiologie

L'Europe se prépare au retour
d'échantillons extraterrestres > 10

Histoire

À la recherche de l'or égyptien > 12

La famille médiévale :
une fenêtre sur l'histoire > 14

Renaissance virtuelle en musique
de l'ancienne collégiale Saint-Martin
de Tours > 16

Physique/Histoire

La cathédrale de Noyon
au cœur d'une expérimentation
d'archéoaoustique > 18

Paléontologie

La topographie 3D pour mieux
comprendre l'évolution des dents
des primates > 20

Matériaux

Des biocéramiques
aux vertus réparatrices > 22

Énergie

Des déchets agricoles pour énergie > 26

Edito

C'est en 1991, qu'Hubert Curien, ministre de la Recherche et de l'Espace, décide d'ouvrir les jardins du ministère au public à l'occasion du 10^{ème} anniversaire de sa création. Il considère que la recherche et la technologie sont l'affaire de tous, et son objectif est de rapprocher le citoyen parisien de la science et de ses acteurs. Il veut aussi encourager les jeunes à s'engager dans les métiers de la recherche et de la technologie. Depuis cette première initiative, La Fête de la Science a pris au fil des ans une ampleur considérable avec des milliers de scientifiques impliqués, des animations dans toute la France et un public de plus en plus diversifié. Chercheurs, enseignants, centres de culture scientifique, musées... font ainsi partager aux petits et grands leur enthousiasme pour les sciences et techniques.

En ce mois d'octobre 2016, La science s'expose, s'explique, s'anime... La Fête de la science dans notre Délégation est un foisonnement d'animations, d'expositions, de débats et d'initiatives scientifiques gratuites, inventives et ludiques. Tous les publics, de tous les âges, sont concernés. Tous les domaines scientifiques sont abordés, de l'histoire aux sciences de l'univers, en passant par les matériaux ou l'exobiologie. Le principe est de favoriser la rencontre entre le grand public et le monde scientifique, de rendre accessible la science par une approche concrète, de découvrir le travail des scientifiques et les métiers de la recherche, de transmettre aux plus jeunes le goût des sciences, de partager les savoirs mais également de mieux comprendre le monde qui nous entoure.

C'est dans cet esprit que cette édition hors-série de Microscop a été créée. Dans ce numéro, les chercheurs de notre Délégation ont fait l'exercice difficile de rendre leurs sujets de recherche scientifique complexes accessibles au plus grand nombre. Pour mieux comprendre la science et ses enjeux. La lecture de ce numéro hors-série peut se concevoir comme un voyage pédagogique. Voyage au fin fond de l'espace à la découverte des ondes gravitationnelles et des pulsars, voyage sur Mars pour un retour sur Terre d'échantillons extraterrestres, voyage aux confins de l'Égypte pour comprendre l'histoire de l'or, voyage dans le temps, voyage au cœur de l'image, voyage acoustique, ...

Très bonne lecture à tous.

Éric Buffenoir
Délégué régional

DOSSIER > 4 - 9 ONDES GRAVITATIONNELLES

CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes
3E, Avenue de la Recherche Scientifique
CS 10065 - 45071 ORLÉANS CEDEX 2
Tél. : 02 38 25 52 01 - Fax : 02 38 69 70 31
www.dr8.cnrs.fr
Contact : Communication@dr8.cnrs.fr

ISSN 1291-8083

Directeur de la publication
Éric BUFFENOIR
Responsable de la publication
Florence ROYER
Secrétaire de la publication
Florence ROYER
Création graphique
Linda JEUFRUAULT

Ont participé à ce numéro :
Sylvie BONNAMY, Sarah CASANO, Eric CHAMPION, Ismaël COGNARD, Chantal DAMIA, Sandrine DELPEUX, Thomas FAUCHER, David FIALA, Bertrand FLOURET, Frédéric FOUCHER, Romain GICQUAUD, Pascale GILLON, Franck GUY, Vincent LAZZARI, Elisabeth NAU, Florian OLIVIER, Bénédicte PALAZZO-BERTHOLON, Patricia PASCAUD-MATHIEU, Antoine PETITEAU, Brahim SARH, Ghislain THIERY, Jean-Christophe VALIERE, Frances WESTALL, Vasco ZARA.

Imprimeur - Prévost Offset - Impression sur papier 100 % recyclé Cyclusprint.

Renaissance virtuelle en musique de l'ancienne collégiale Saint-Martin de Tours

La collaboration entre historiens et infographistes peut faire renaître des architectures exceptionnelles. Ces reconstructions 3D replacent les édifices dans la ville et éclairent les pratiques des sociétés passées.

Le projet pluridisciplinaire ReViSMartin s'articule autour de la réalisation d'une maquette numérique tridimensionnelle de la collégiale Saint-Martin de Tours telle qu'elle se présentait à la fin du XV^e siècle. Au-delà du défi scientifique et technologique et de l'ambition régionale que représente une telle entreprise au regard des dimensions de l'édifice, de sa disparition voici plus de deux siècles et de son importance historique, l'originalité du projet consiste à développer en outre un ensemble d'applications numériques visant à représenter l'occupation des lieux par son clergé et les habitants de la ville, et donner à comprendre sa destination fondamentale : la célébration de services religieux en musique.

Un film d'animation et une application de visite virtuelle avec une bande-son musicale spatialisée, constituée de l'enregistrement *ad hoc* de trois polyphonies de l'époque liée à Saint-Martin, dont deux inédites au disque, invitent à découvrir les lieux en présence de Jean Ockeghem. Les œuvres de ce dignitaire de l'église et principal musicien de la cour des rois de France Charles VII, Louis XI et Charles VIII, figurent parmi les sommets de la musique occidentale. Des applications complémentaires explicitent le contexte historique et musical.

Un patrimoine familier et irrémédiablement étranger

Le réseau d'églises qui a modelé l'espace des villes et campagnes de l'Europe médiévale est un des patrimoines les plus familiers du continent. Alors que la plupart de ces édifices continuent de jaloner les paysages, la disparition de certains brouille la lecture de l'espace qui s'était constitué autour d'eux. En outre, s'ils conservent une forte présence visuelle, leur aspect et leur fréquentation actuels rendent difficilement imaginable leur quotidien à l'époque de leur plus intense activité. Jour après jour, la continuité du service divin, leur raison d'être, y était un principe intangible.

Un mémoire produit vers 1470 par une église prestigieuse mais de fondation récente et de dimensions et revenus moyens, la Sainte-Chapelle de Dijon, revendiquait la célébration annuelle de « 15 000 basses messes et 2000 hautes messes », soit une moyenne quotidienne de 45 messes dont cinq incluant du plain-chant (grégorien) et/ou de la polyphonie. À ces messes s'ajoutaient le cycle quotidien des heures (matines, vêpres, etc.) et divers offices particuliers financés (comme une importante partie des messes) par des donateurs privés « pour le salut et remède de leur âme », notamment dans les chapelles dont ils avaient commandité l'édification et la décoration sur le pourtour de

la nef et du chœur. Les technologies numériques renouvellent l'approche de ces édifices familiers dont l'activité nous échappe désormais largement. Dans le prolongement d'un projet réalisé par le CESR autour de la Sainte-Chapelle de Dijon en 2012-2014, l'ancienne église Saint-Martin de Tours, détruite sous la Révolution, fait figure de cas d'école.

Un cas d'école

Se développant à partir du V^e siècle comme mausolée (ou basilique) d'un des saints les plus vénérés de la chrétienté, l'église Saint-Martin de Tours joua un rôle majeur dans la structuration de la ville, développant à l'ouest de l'ancienne cité et de sa cathédrale le quartier de Châteauneuf qui est aujourd'hui le centre historique de la ville. La construction du bâtiment détruit vers 1800 avait débuté au XI^e siècle en remplacement des anciennes basiliques funéraires des V^e et VI^e siècles, pour abriter la tombe de saint Martin, évêque de Tours mort en 397, et accueillir les pèlerins.

Au XV^e siècle, après plusieurs phases de construction et reconstruction qui finirent par articuler une nef romane et un chœur gothique, l'édifice avait atteint son emprise maximale, dépassant celle de la cathédrale : 112 m de long pour 69 m de large pour le transept et 39 m pour la nef ; les voûtes du chœur, dominant celles de la nef, s'élevaient à 34 m.

Modélisation en cours de la collégiale Saint-Martin de Tours.

© CESR/Dripmoon

Jean Ockeghem et la chapelle royale au lutrin, enluminure attribuée à un collaborateur d'Étienne Collaut tirée des Chants royaux sur la Conception couronnés au Puy de Rouen, vers 1530, Paris, Bibliothèque nationale de France, ms. français 1537, fol. 58v



À la suite de l'écroulement d'une partie des voûtes, sa destruction entre 1794 et 1801 s'acheva avec la création de l'actuelle rue des Halles à l'emplacement de la nef, laissant subsister de part et d'autre la tour Charlemagne et la tour de l'Horloge, remontant aux XI^e et XII^e siècles.

« ... donner à voir et à entendre un lieu et des sons disparus... »

Au-delà de la seule visualisation d'un édifice majeur disparu, la production d'une maquette numérique 3D exige la mise à jour et la vérification pas à pas de l'ensemble du dossier archéologique et architectural. La précision de calcul inhérente aux outils numériques offre notamment des possibilités de recoupements inédites entre les données acquises par scan 3D ou photo-modélisation des vestiges toujours en place (les tours), la documentation ancienne (gravures, plans, descriptions) et les travaux archéologiques et historiques publiés depuis cent cinquante ans (dont des propositions de restitutions). Malgré de nombreuses et inévitables zones d'ombre dont la restitution demeurera sans doute à jamais hypothétique, l'ensemble des données permet une représentation précise et fournit une riche base d'examen et de discussion aux experts des divers domaines concernés (historiens de l'architecture, des arts, de l'urbanisme ou de la musique, archéologues, etc.).

Un matin d'été 1480

Alors que la maquette 3D de l'édifice met à la disposition des chercheurs un jeu de données numériques librement exploitables, le projet

ReViSMartin décline sa visite virtuelle sous la forme d'un film d'animation et d'une application de type jeu vidéo situés précisément dans le temps de l'exécution, en août 1480, de trois pièces musicales composées dans et/ou pour l'environnement de Saint-Martin. Après des décennies de présence royale marquées par de nombreux embellissements intérieurs, l'église connaît son âge d'or. Son dirigeant le plus actif, trésorier du chapitre et, à ce titre, baron de l'ensemble du quartier environnant de Châteauneuf, est le plus fameux musicien de l'époque. En offrant une représentation de cette figure hors du commun de Jean Ockeghem en train de chanter une de ses propres œuvres avec quelques éminents collègues que sa présence attirait à Tours, l'objectif est de rendre sensible la place de la musique dans cette époque et la fonction fondamentale d'espace de chant religieux des églises d'alors. Alors que la musicologie ne cesse d'approfondir l'étude des conditions de création et (plus encore) d'exécution des répertoires conservés (et non plus seulement des œuvres en elles-mêmes), notamment dans leur environnement spatial, le recours aux technologies de la réalité virtuelle s'impose comme une évidence.

Les vertus du défi de la restitution

En concentrant le résultat de travaux approfondis dans presque toutes les disciplines historiques autour d'objets accessibles à des publics très divers, les applications numériques combinent une puissance de synthèse des connaissances à une capacité de démocratisation des savoirs sans équivalent. Rele-



Photomontage de l'actuelle rue Rameau à Dijon avec la façade de la maquette 3D de la Sainte-Chapelle sur son emplacement historique

ver le défi de donner à voir et à entendre un lieu et des sons disparus suppose d'affronter des questions d'une diversité et d'un niveau de détail que les sources et leur approche traditionnelle ne fournissent pas naturellement. L'intérêt épistémologique d'une telle entreprise réside précisément dans cette obligation de répondre à des questions sur lesquelles les sources documentaires sont au mieux évasives ou lacunaires, et souvent muettes.

C'est une forme de renversement heuristique de la charge de la preuve qu'une telle démarche provoque. Son enjeu méthodologique réside donc dans cette tension entre « ce que les historiens savent » (en s'en tenant aux documents conservés) et « ce que nous — tous, historiens ou spectateurs — voudrions savoir » — et que l'infographie permet de montrer dans sa forme la plus plausible, dans une recherche d'authenticité imagée. Plus que toute autre, cette démarche appelle la critique et le débat.

David FIALA < CESR

david.fiala@univ-tours.fr

<http://www.cesr.cnrs.fr/>

Le projet pluridisciplinaire ReViSMartin (APR 2015-2017) est porté par le CESR (David Fiala) en collaboration avec le LAT, PRISME, ARTeHis et le musée Saint-Martin de Tours. Dans le cadre de l'année Saint-Martin, la reconstitution 3D de la basilique sera présentée à la Fête de la Science à Nouzilly les 15 et 16 octobre et fera l'objet d'une exposition au Musée des Beaux-Arts de Tours, à partir du 8 octobre 2016.

© Alexandre MAZUIR < CNRS ARTeHis



La cathédrale de Noyon au cœur d'une expérimentation d'archéoaoustique

A l'inverse des témoignages écrits, la parole et le chant des époques médiévales ne laissent aucune trace matérielle de leur exécution. Une entreprise originale a été lancée par le CESC, le CESR et P' pour reproduire les sonorités des édifices religieux qui accueillent ces performances vocales.

© L. PHILIPPON

Depuis longtemps le CESR porte des recherches sur l'architecture et la performance chantée. Le CESC et P' travaillent quant à eux depuis une dizaine d'années sur les techniques de correction acoustique, notamment à travers l'usage de dispositifs de pots acoustiques, insérés dans les murs et dans les voûtes des édifices de culte entre le X^e et le XVIII^e siècle. À l'équipe de spécialistes en musicologie, liturgie, archéologie et acoustique ont été associés des linguistes de Poitiers et du Mans pour étudier les questions relatives à la terminologie acoustique en ancien et moyen français.

Une structure architecturale unique

Sous le chœur de la cathédrale de Noyon, en Picardie, se cache une salle voûtée de 15 m², dont le dispositif de 64 pots acoustiques, intégrés aux murs de briques, suscite de nombreuses interrogations. Cet espace souterrain insolite datant peut-être de l'époque médiévale, est appelé « caveau phonocampique » lorsqu'il est cité pour la première fois dans les sources du XIX^e siècle. Le dispositif de pots acoustiques est daté de la fin du XVI^e ou du début du XVII^e siècle.

Les livres liturgiques et les ouvrages de musiques relatifs à la cathédrale Notre-Dame de Noyon et de l'usage du caveau, ne mentionnent nullement cet espace souterrain ni, *a fortiori*, une liturgie particulière qui

pourrait lui avoir été associée.

Or, ce caveau a été élaboré à une époque où la Picardie était le centre d'un intense développement de la musique polyphonique religieuse. À la Renaissance, la cathédrale de Noyon était un important centre de formation, de pratique et de création musicales.

«... les pots semblent agir sur la répartition du son dans l'espace ...»

En l'absence de données textuelles relatives au caveau et à son usage, l'étude s'est focalisée sur l'analyse archéologique du bâti pour en cerner la mise en œuvre architecturale. L'analyse de la disposition des pots et la reconstitution expérimentale d'une performance chantée permettent de tester les conditions du chant dans cet espace si particulier, pour en préciser le fonctionnement et tâcher de comprendre l'objectif de ses concepteurs. Le relevé pierre à pierre des parements avec les pots a d'abord permis d'établir le phasage architectural du caveau, en distinguant un caveau initial - dont l'usage n'est pas connu - et son aménagement ultérieur avec les pots, datable, lui, de la fin du XVI^e ou du début du XVII^e siècle.

Le caveau comprend 64 pots aménagés dans un espace de 38m³. Deux ensembles de 32 pots présentent deux fréquences de réso-

nance accordées à la quarte environ, autour des fondamentales des voix parlées et chantées (basses et barytons). Noyon est singulier par la taille réduite de la salle et par le soin particulier qui a été apporté au choix et à l'insertion des pots dans la maçonnerie de briques.

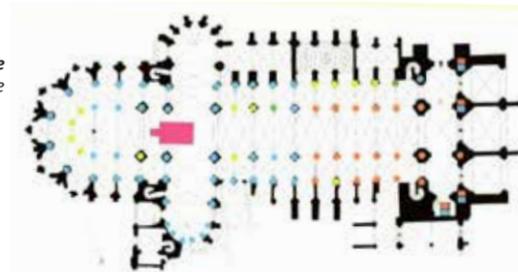
Une démonstration grandeur nature

Une étude acoustique du caveau a montré que les pots augmentaient globalement la réverbération de 20% et de 50% dans les bandes fréquentielles où les pots sont actifs (bande d'octave autour de 125 Hz environ). Sur les basses fréquences, les pots semblent agir sur la répartition du son dans l'espace (propriété de diffusion), le rendant globalement plus homogène.



< Page de gauche : L'ensemble Gilles Binchois chantant avec quatre livres originaux imprimés dans les années 1530 par Pierre Attaignant, une collection exceptionnelle conservée dans l'ancienne bibliothèque du chapitre de Noyon. De gauche à droite : Roman Melish, Gerd Türk, François Fauché, Emmanuel Vistorky sous la direction de Dominique Vellard

Localisation du caveau acoustique (en rose) dans la cathédrale de Noyon, à la croisée du transept.



L'intention d'agir sur l'acoustique dans cet espace est claire sur le plan technique. La présence de graffiti de chantres et maîtres de musiques de la cathédrale actifs aux XVII^e-XVIII^e siècles renforce cette conviction.

Une expérience a donc été conduite en collaboration avec des chanteurs spécialistes des chants du Moyen Âge et de la Renaissance. L'objectif était de répondre aux questions laissées en suspens par les sources documentaires, à savoir :

- les chantres de la cathédrale descendaient-ils dans le caveau pour chanter ?
 - la présence des pots dans la salle souterraine améliorerait-elle les conditions du chant, pour les chanteurs situés en bas mais aussi pour l'auditoire installé dans le chœur ?
 - le caveau pouvait-il avoir joué un rôle dans la liturgie et/ou dans la pratique du chant ?
- Quatre chanteurs masculins experts de musique vocale religieuse *a cappella* ont donc interprété : une composition polyphonique élaborée (complexe) à quatre voix (en contrepoint) ; une polyphonie simple à quatre voix, en style de faux-bourdon (en accords, toutes les voix déclamant le texte sur le même rythme) ; un chant religieux monodique (de type « chant grégorien »).

Les trois formes de chant pratiquées à l'époque où ce caveau acoustique a été conçu, requièrent des conditions d'écoute

et d'exécution différentes que les chercheurs voulaient tester dans le cadre de cette expérimentation performative.

Plusieurs paramètres sont pris en compte lors de l'exécution des pièces :

- la justesse des intonations ;
- l'accord et la cohésion harmonique entre les voix,
- enfin, la précision rythmique.

Des pots, amplificateurs de son

Des questionnaires psychoacoustiques furent distribués aux chanteurs qui devaient répondre après chaque performance chantée, d'abord avec les pots bouchés, puis avec les pots ouverts. Le temps de réverbération du caveau, caractéristique des petites salles, est très court et rend difficile l'exercice du chant religieux qui se pratique habituellement dans l'espace bien plus ample des églises. Ce premier constat d'inconfort indique que les concepteurs du caveau acoustique suivaient un objectif bien précis qui nous échappe encore. Lorsque les pots étaient ouverts et donc actifs sur le son, les chanteurs plaçaient leurs voix plus facilement et s'entendaient mieux. Dans le chœur, l'auditoire a perçu une légère amélioration du chant exécuté dans le caveau avec les pots ouverts par rapport au test avec les pots bouchés. Cela doit néanmoins être vérifié à partir de tests psychoacoustiques en laboratoire à partir des prises de sons.



< Ci-contre : L'ensemble Gilles Binchois exécutant les pièces dans le caveau : avec les pots bouchés à gauche et les pots débouchés à droite

Caveau « phonocampique » de la cathédrale de Noyon avec le dispositif de pots débouchés. Tête artificielle permettant une prise de son proche de l'écoute binaurale.



Les rares textes concernant la pose de pots indiquent qu'ils sont censés « mieux faire résonner la voix », c'est-à-dire à amplifier le son. Dans le caveau de Noyon, cet effet est bel et bien perçu dans une salle de petite taille comme le caveau, tandis que dans les grands espaces des églises, seul l'effet absorbant des pots - assimilés à des résonateurs - placés à longue distance, est possible mais souvent imperceptible.

Si ces résultats prouvent l'intention d'agir avec les pots sur le chant exécuté dans le caveau, la question de l'utilisation de cet espace reste néanmoins ouverte. S'agissait-il d'une salle d'entraînement pour les chantres de la cathédrale ou bien d'un espace dédié à l'exécution de certaines pièces liturgiques ? Ou alors simplement d'une « salle expérimentale » ? Sans témoignage contemporain de l'usage du dispositif, les hypothèses restent à affiner.

Comprendre ce que les concepteurs du dispositif de pots acoustiques ont voulu faire dans le caveau de la cathédrale de Noyon permet de mieux appréhender l'état des connaissances empiriques de l'acoustique à la Renaissance, mais aussi de mesurer l'importance du son et des choix sonores réalisés pour la pratique musicale.

Jean-Christophe VALIÈRE < PPRIME

jean.christophe.valiere@univ-poitiers.fr

Bénédicte PALAZZO-BERTHOLON < CESR

david.fiala@univ-tours.fr

Vasco ZARA < CESR

Vasco.Zara@u-bourgogne.fr

www.pprime.fr

www.cesr.cnrs.fr

<http://cescm.labo.univ-poitiers.fr/>

Réservez la date !

Du 1^{er} au 3 mars 2017,
Orléans, France

EUROPEAN FUEL CELL CAR *Workshop*

Plus d'infos : <http://efcw2017.sciencesconf.org>

EFCW2017 sera organisé à l'**HÔTEL DUPANLOUP**,
siège du Centre International Universitaire pour la Recherche
de l'Université d'Orléans.



Pascal Brault
pascal.brault@univ-orleans.fr

Deborah Jones
deborah.jones@univ-montp2.fr

EFCW2017 sera une occasion unique **d'échanger** sur les
progrès scientifiques et technologiques des projets de
l'entreprise conjointe européenne FCH-JU, à mi-parcours de
H2020, et de présenter un état de l'excellence de la recherche
et de l'innovation dans le domaine de **l'hydrogène pour
les transports.**



mxpolymers



à l'Inrap (Institut national de recherches archéologiques préventives). On circule à très grande échelle et très loin.»

Dans les tombes, on a retrouvé des fibules nanties de pierres précieuses venues du Sri Lanka, d'Inde ou

De haut en bas : vue de l'exposition ; fermoirs d'aumônière provenant d'une sépulture aristocratique masculine du VI^e siècle ; dés à jouer médiévaux mis au jour dans les couches du chantier de construction de la cathédrale de Strasbourg.

des, vit encore en nous. Mais qui se prévaut aujourd'hui d'être « moyenâgeux » ? ■

« Quoi de neuf au Moyen Âge ? », Cité des sciences et de l'industrie (Paris XIX^e), jusqu'au 6 août 2017. www.cite-sciences.fr

Saint Martin ressuscite à Tours

ÉRIC BIÉTRY-RIVIERRE
ebietryrivierre@lefigaro.fr

Aujourd'hui, saint Martin est réinstallé sur le dôme de la basilique de Tours. Ce bronze monumental du protecteur de la cité a été en partie redoré et surtout consolidé. Il menaçait de s'effondrer avec son socle et son bulbe, et avait été déposé en février 2014. Plus de deux millions d'euros ont été engagés dans cette opération, financée par les Affaires culturelles, la ville, le département et la région.

L'événement coïncide avec le 1700^e anniversaire de Martin (316-397), ancien général de l'armée romaine, né dans l'actuelle Hongrie, célèbre pour avoir partagé son manteau avec un pauvre. C'était à Amiens, en 337, époque de sa conversion au christianisme. Le fait est connu par Sulpice Sévère, hagiographe mais qui a rencontré son sujet.

L'armée quittée, Martin a fondé avec Hilaire, évêque de Poitiers, le premier monastère de Gaule (à Ligugé, en Poitou). Puis il a été nommé évêque de Tours et, toujours fidèle à sa vie d'ascète, a créé sur la rive droite de la Loire un ermitage qui deviendra le prestigieux monastère de Marmoutier au scriptorial ré-

puté. Le culte de Martin est l'objet d'un pèlerinage parmi les plus anciens de la chrétienté avec Rome, Jérusalem ou Saint-Jacques-de-Compostelle. Les Capétiens revendiquaient sa moitié de « cape », symbole de charité. Charlemagne fit inhumer son épouse près du tombeau sacré. En face du dôme, la tour dite de Charlemagne – seul vestige de la collégiale médiévale – a aussi été réhabi-

litée. Son sommet est désormais accessible.

Dans l'actuelle basilique, réinvention du XIX^e siècle après les destructions de la Révolution, la crypte renferme un fragment du crâne de Martin. Pour le reste, il faut aller au Musée des beaux-arts, qui propose une exposition sur la vie et le rayonnement du pieux homme. Son geste, emblématique des vertus

d'entraide et de solidarité, a impressionné les siècles et les lieux les plus divers. En témoignent 120 œuvres, manuscrits enluminés (dont celui des Évangiles écrit en onciales d'or sur lequel quinze rois de France ont prêté serment, de Louis VII à Louis XIV), peintures (Perugin, Bassano, Le Sueur...), objets d'art sacré, vitraux, tapisseries, dessins, sculptures et pièces archéologiques. Ces trésors viennent de toute l'Europe et datent de toutes les époques.

En fin de parcours, on découvre les premières images d'une reconstitution 3D numérique de la collégiale en l'an mille. Le Centre d'études supérieures de la Renaissance, basé à Tours, va plus loin que ce qui a été fait pour l'abbatiale de Cluny III et la Sainte-Chapelle de Dijon. Les chercheurs sont allés jusqu'à restaurer la liturgie et la musique, les donnant à entendre dans l'espace pour lesquelles elles ont été conçues. Ces polyphonies ressuscitées de Jean Ockeghem (seconde moitié du XV^e siècle) peuvent s'écouter plus longuement dans un studio éphémère à la sortie du musée. ■

« Martin de Tours, le rayonnement de la cité », Musée des beaux-arts, Tours. (37), jusqu'au 8 janvier. Catalogue Silvana Editoriale, 351 p., 35 €. Tél. : 02 47 05 68 82. www.mba.tours.fr



La rénovation de la statue de saint Martin a coûté plus de 2 millions d'euros. B. PIRAUDEAU

Immersion en 3D dans la Renaissance

Les humanités n'ont pas échappé au tournant numérique. A Tours, le Centre d'études supérieures de la Renaissance (CESR) est entré de plain-pied dans l'univers « transmédia », emmenant dans son sillage les énigmes du château de Chambord, la fête de cours célébrant la bataille de Marignan, les machines de Léonard de Vinci, la bibliothèque de Montaigne ou encore la basilique Saint-Martin. Une démarche « *pleinement scientifique* » qui met presque à portée de main les recherches croisées des chercheurs. « *Le numérique nous permet de diffuser du savoir au grand public, mais aussi aux chercheurs de se poser de nouvelles questions* », explique Benoist Pierre, professeur et directeur du CESR à l'université de Tours.

Réalité augmentée

Pour répondre aux appétences du public pour cette période « *de création, de mutations, qui était aussi une période de crise, avec ses côtés sombres* », le CESR s'est emparé des possibilités offertes par les nouvelles technologies. Aux réalisations



Bien plus qu'une simple visite virtuelle, des clés pour comprendre l'époque.

qui ont traversé le temps, les chercheurs proposent désormais d'ajouter des reconstitutions et des immersions, qui seront autant de clés supplémentaires pour comprendre cette époque. Web-documentaire, lunettes de réalité augmentée, applications et jeux interactifs font partie de l'arsenal des nouvelles technologies au service de la science. D'ici ces deux prochaines années, le CESR proposera par exemple de pénétrer dans le cabinet de Montaigne et d'approcher sa librairie avec, à terme, la possibilité de pouvoir consulter les ouvrages. Bien

plus qu'une simple visite virtuelle, le projet « *Montaigne à l'œuvre* », porté par le programme « *Bibliothèques virtuelles humanistes* » promet d'ouvrir « *l'atelier de fabrication de Montaigne* », s'enthousiasme Benoist Pierre, en donnant accès à plusieurs versions annotées des « *Essais* », et d'autres ouvrages fondateurs. Autres lieux, même époque, le CESR propose de rebâtir, virtuellement, la basilique Saint-Martin pour une visite privée et en 3D de la collégiale reconstituée. Une immersion qui plongera le visiteur dans une sorte de bande-son de l'époque

en invitant notamment le compositeur Jean Ockeghem.

Le programme qui concerne le « *génie* » de la Renaissance, Léonard de Vinci, se concentre, lui, particulièrement sur le processus d'innovation en explorant, grâce à des applications numériques et des « *jeux sérieux* », les machines créées par lui.

La liste est longue encore des projets scientifiques qui feront renaître la Renaissance dans les univers virtuels. Ceux-là sont à découvrir ce week-end pour la Fête de la science à Nouzilly. En réalité, et en version bêta.

LA TRIBUNE **HEBDO**

LE JOURNAL D'INFORMATION DE LA MÉTROPOLE TOURANGELLE • N°412 • DU 26 AVRIL AU 02 MAI 2018



NUMÉRIQUE Dans le cadre du programme prévu par le Conseil régional en 2019 qui célébrera les 500 ans de la Renaissance, le Centre d'études supérieures de la Renaissance de Tours pilote le projet d'une reconstitution 3D de la collégiale Saint-Martin. Mais c'est aussi une partie du quartier des halles que chercheurs et techniciens du numérique ont fait revivre. Magique. P.4

NOUVELLE TECHNOLOGIE TOURISTIQUE

LA RENAISSANCE DE TOURS

Dans le cadre du programme prévu par le Conseil régional en 2019 qui célébrera les 500 ans de la Renaissance, le Centre d'études supérieures de la Renaissance de Tours pilote le projet d'une reconstitution 3D de la collégiale Saint-Martin. Mais c'est aussi une partie du quartier des halles que chercheurs et techniciens du numérique ont fait revivre. Magique.

FLORIAN MONS

Il était d'abord question de musique. Il y a trois ans, David Fiala, chercheur en musicologie et maître de conférence à l'Université de Tours, répondait à un appel d'offre lancé par le Conseil régional Centre-Val de Loire et proposait une interprétation d'une œuvre du compositeur tourangeau d'adoption Jean Ockeghem dans un cadre particulier, celui de la collégiale Saint-Martin. Pas celle qui nous est parvenue, que l'on connaît sous forme de vestiges, mais sa version du XV^e siècle ! Un projet pluri-partenarial, baptisé Revis Martin, au budget de 200 000 euros, porté par le Centre d'études supérieures de la Renaissance de Tours (Cesr) via son programme Intelligences des patrimoines. « J'avais travaillé sur un projet similaire à Dijon, en reconstituant une chapelle pour y interpréter des célébrations liturgiques » raconte David Fiala. Cette fois, à Tours, c'est le requiem composé par Ockeghem au XV^e siècle qui a été choisi, « le premier requiem français jamais composé » précise le musicologue, interprété pour l'occasion par l'ensemble Gilles Binchois de Dijon.

Son spatialisé

Mais pour retrouver le son de l'époque et immerger l'auditeur dans l'atmosphère de ces célébrations, il fallait d'abord rebâtir

la collégiale. Qu'on se rassure, pas de pelleteuses à l'horizon, pas de rues bloquées pour aucuns travaux. Le chantier fut numérique. D'une part, le son a été « spatialisé ». Si le requiem a été enregistré dans une salle au volume plus modeste que celui de la collégiale, « les ingénieurs du son peuvent faire des miracles » précise David Fiala. Outre la situation du chœur et la disposition des chanteurs, ces ingénieurs ont dû prendre en compte la présence de divers éléments de l'endroit. « Il y avait par exemple un dais, ainsi que de grandes tapisseries de cinq à six mètres, qui avaient certainement une fonction acoustique ». Il fallut également reconstituer les variations sonores perçues par le visiteur au gré de ses déplacements, en prévision du film d'animation qui résultera de cette reconstitution et de l'éventuelle élaboration d'une visite virtuelle.

Truelles numériques

Quant au cadre bâti, c'est le studio tourangeau Drip Moon, à deux pas du Centre d'études supérieures de la Renaissance, qui s'en est chargé. Si les activités de Drip Moon sont assez diverses, l'un de ses membres a exercé auparavant dans un labo d'archéologie et un autre a suivi une formation d'architecte paysagiste. Drip Moon avait en



Ce travail préfigure également d'un futur film d'animation.

outre été sollicité par le prieuré Saint-Cosme pour une projection 3D de ses jardins. Pour familier que soit le studio du monde du patrimoine, « c'était un petit défi » confient les spécialistes. « J'ai transpiré... » confie même Gwen, qui a travaillé avec, derrière son épaule, le regard de la chercheuse Emeline Marot, archéologue au laboratoire Archéologie et territoires de l'université de Tours. Alors, comment faire revivre la collégiale quand on ne dispose que de quelques vestiges ? « Nous avons plusieurs sources » explique Emeline Marot « comme la reconstitution faite par Charles Lelong dans les années 70, mais aussi des peintures, de rares témoignages ou encore une com-

paraison avec la cathédrale de Bourges, dont on connaît des similitudes avec la collégiale... ». Au total, un corpus de plusieurs centaines de documents tout de même, « mais nous avons beaucoup échangé avec les historiens de l'architecture. Et surtout, de nombreux relevés numériques ont été effectués ainsi qu'un travail de photogrammétrie ». Grâce à cette technologie numérique de haute précision, « il nous est arrivé de constater que les anciens relevés ne collaient pas » précise la chercheuse. Or, les techniciens de la 3D sont très exigeants quant à la fourniture de données précises. Il faut alors corriger, proposer des hypothèses et la reconstitution devient un élément à part en-

« C'ÉTAIT UN PETIT DÉFI » CONFIENT LES SPÉCIALISTES. ET GWEN D'AJOUTER : « J'AI TRANSPIRÉ... »



© CESR/Dripmoon



6 000

C'est le temps en heures qu'il a fallu consacrer à la conception numérique 3D de ce que l'on pourra bientôt découvrir.

tière de la recherche, un peu à la manière de l'archéologie expérimentale.

Une partie du quartier reconstituée

Non contents de faire renaître la cathédrale, les spécialistes ont même reconstitué une partie du quartier des halles et de la rue du grand marché, mais le paysage perceptible s'étend du

quai Paul Bert au boulevard Bé-ranger. « *Pour ces habitations, nous avons fait une trentaine de modèles différents* » explique Gwen, à Drip Moon, « *et modélisé des personnages, inspirés de tableaux d'époque comme ceux de Fouquet. La ville vit, avec ses artisans et ses commerçants* ». Notons la reconstitution du portail de l'hôtel du trésorier de Saint-Martin, qui sera d'ailleurs un élément du scénario dans lequel on suivra Ockeghem lui-même. Au final, une splendide réalisation aux détails surprenants mais dont les auteurs précisent avec une prudence toute scientifique qu'« *il ne s'agit pas là d'une reconstitution définitive et sûre à 100 %* ».

Pour le Cesr, l'utilisation de ces technologies, à mi-chemin de la recherche et de la pédagogie, est désormais incontournable et représente un enjeu essentiel. Familier des reconstitutions réelles comme celle d'une fête de cour il y a deux ans, ou virtuelles,

comme la numérisation intégrale du château de Chambord, doté d'un pôle numérique, le centre dispose également désormais d'un incubateur de start-ups au sein du pôle Mame. En outre, une plate-forme de données, baptisée Renaissance-transmédia lab sera très bientôt mise en ligne. Pour Benoist Pierre, directeur du Cesr, il s'agit même maintenant « *d'évaluer les conséquences cognitives* » de ce flot de données démesuré. « *Nous comptons désormais en dizaines voire en centaines de Terra. Reste à structurer ces données et à les rendre accessibles* ». Une technologie devenue à ce point essentielle que le Cesr ouvrira à la rentrée 2018 son École supérieure en intelligence du patrimoine, « *au croisement des sciences sociales et des sciences du numérique* ». Parmi les formations, trois masters seront consacrés à la maîtrise des nouvelles technologies, dans le domaine de la recherche comme de la médiation. ●



2019, L'ANNÉE DE TOUS LES ESPOIRS

S'il s'agira de marquer la mort d'un des plus grands hommes que la terre ait porté, en l'occurrence Léonard de Vinci, ce cinq centième anniversaire sera surtout l'occasion de mettre en lumière un patrimoine Renaissance particulièrement présent sur notre territoire. Après avoir longtemps regretté de ne pas avoir été capitale de Région, cette collectivité, en lui permettant de développer un tel outil (lire ci-dessus) devrait assurer à Tours, à partir de 2019 et pour les deux ou trois ans à suivre, d'être la capitale de la Renaissance. Voilà qui devrait satisfaire certains ego, mais qui va surtout alimenter le flux des visiteurs et pas seulement durant les fortes périodes estivales. C'est d'ailleurs ce dernier aspect qui devrait surtout satisfaire le commerce en lien direct ou indirect avec le tourisme. **P.H.**



Des images impressionnantes de réalisme



ST MARTIN TOURS & MOI

LE SUPPLÉMENT

LE MAGAZINE HORS-SÉRIE DE LA VILLE DE TOURS
DÉDIÉ À L'ANNÉE MARTINIENNE.

Saint Martin,
aux origines de Tours

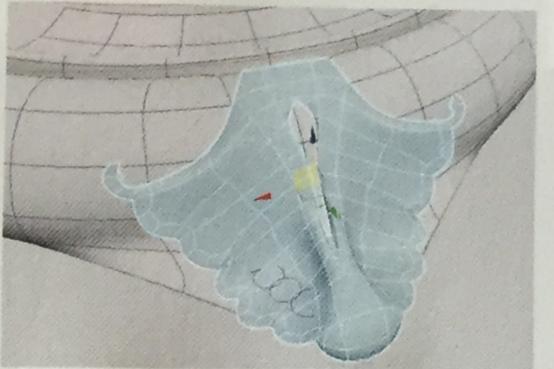
Particuliers, entreprises,
artisans, artistes...
ils contribuent à l'élan autour
de l'année martinienne

Le programme détaillé
des animations





© Ville de Tours



© Dripmoon

UNE PLONGÉE DANS LA MAGNIFICENCE DU XV^E SIÈCLE

—
EN 2017, UNE RECONSTITUTION 3D DE LA BASILIQUE SAINT-MARTIN DU XV^E SIÈCLE, DISPARUE À LA RÉVOLUTION, PERMETTRA AUX VISITEURS DE SE PROMENER SUR LES PAS DE LOUIS XI DONT LES OBSÈQUES FURENT CÉLÉBRÉES EN CES MURS EN 1483.
—

C'est à l'occasion de l'exposition Saint-Martin au musée des Beaux-Arts (*lire pages 22-23*) que seront présentées les premières images de la reconstitution 3D de l'ancienne collégiale Saint-Martin à son apogée, au XV^e siècle, avec l'intégration d'une bande son spatialisée qui reprend un chef d'œuvre de la musique polyphonique composé par Jean Ockeghem, principal musicien des rois de France et plus haut dignitaire de la collégiale au XV^e siècle. Le projet, financé par la Région, est réalisé en partenariat avec la Ville de Tours, qui souhaite l'installer dans le futur Centre d'Interprétation de l'Architecture et du Patrimoine qui ouvrira ses portes à la rentrée 2017 à la place de l'ancien musée Saint-Martin fermé en 2014.

UN ÉNORME PUZZLE

La mairie a encouragé David Fiala, maître de conférences et l'équipe de musicologie au Centre d'études Supérieures de la Renaissance (CESR)

de Tours, qui ont déjà réalisé un projet similaire à la Sainte-Chapelle de Dijon à se pencher sur l'ancienne basilique. « Le premier travail consiste à réunir et trier, avec le Laboratoire Archéologie et Territoires, l'abondante documentation sur la collégiale et d'écartier les gravures fantaisistes. Nous nous appuyons sur le studio tourangeau Dripmoon pour la 3D et sur l'ensemble de musique ancienne dijonnais Gilles Binchois pour la bande sonore. Grâce au plan masse du XVIII^e siècle on connaît l'emprise de la collégiale. À partir des traces d'arrachement des voûtes visibles sur les tours Charlemagne et de l'Horloge, on peut en déduire bien des éléments. Le laboratoire de physique des matériaux PRISME de l'université d'Orléans nous aide pour l'examen de ces vestiges. Les personnages, dont Jean Ockeghem, seront positionnés dans la basilique selon des descriptions historiques précises sur les cérémonies. Ce travail est en fait un énorme puzzle à reconstituer. »