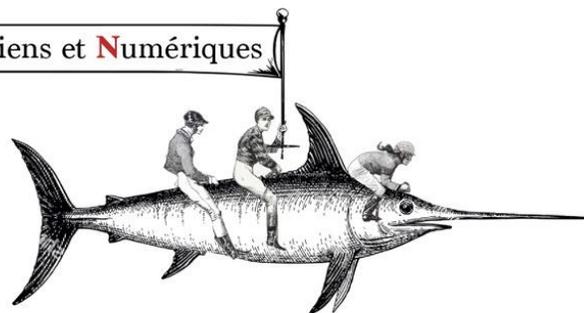


E S P A D O N

Vincent Detalle Coord. Scient.
Romain Thomas (Adj.) / Emmanuel Poirault (Adj.)

En Sciences du **P**atrimoine, l'**A**nalyse **D**ynamique des **O**bjets anciens et **N**umériques



Journées Conservation, Changement Climatique, Sobriété Énergétique dans les demeures historiques



ANR-21-ESRE-0050



Château de Versailles

5 avril 2024

Qui est ESPADON ?



13 institutions signataires
 31 unités partenaires
 Plus de 1 000 PM en apport

{ BnF

Stratégie de recherche, et d'interopérabilité comme objectif d'ESPADON

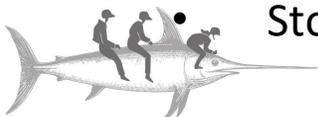
Co-construction: Sciences Humaines et Sociales, Sciences Expérimentales, Sciences du Numérique

Répondre à un enjeu
instrumental

- Spatialisation 2D/3D
- Multidimensionnel (multi-échelle, multi-temporel)
- Multimodal

Répondre à un enjeu de
gestion des données
massives

- Traitements
- Échanges
- Stockage



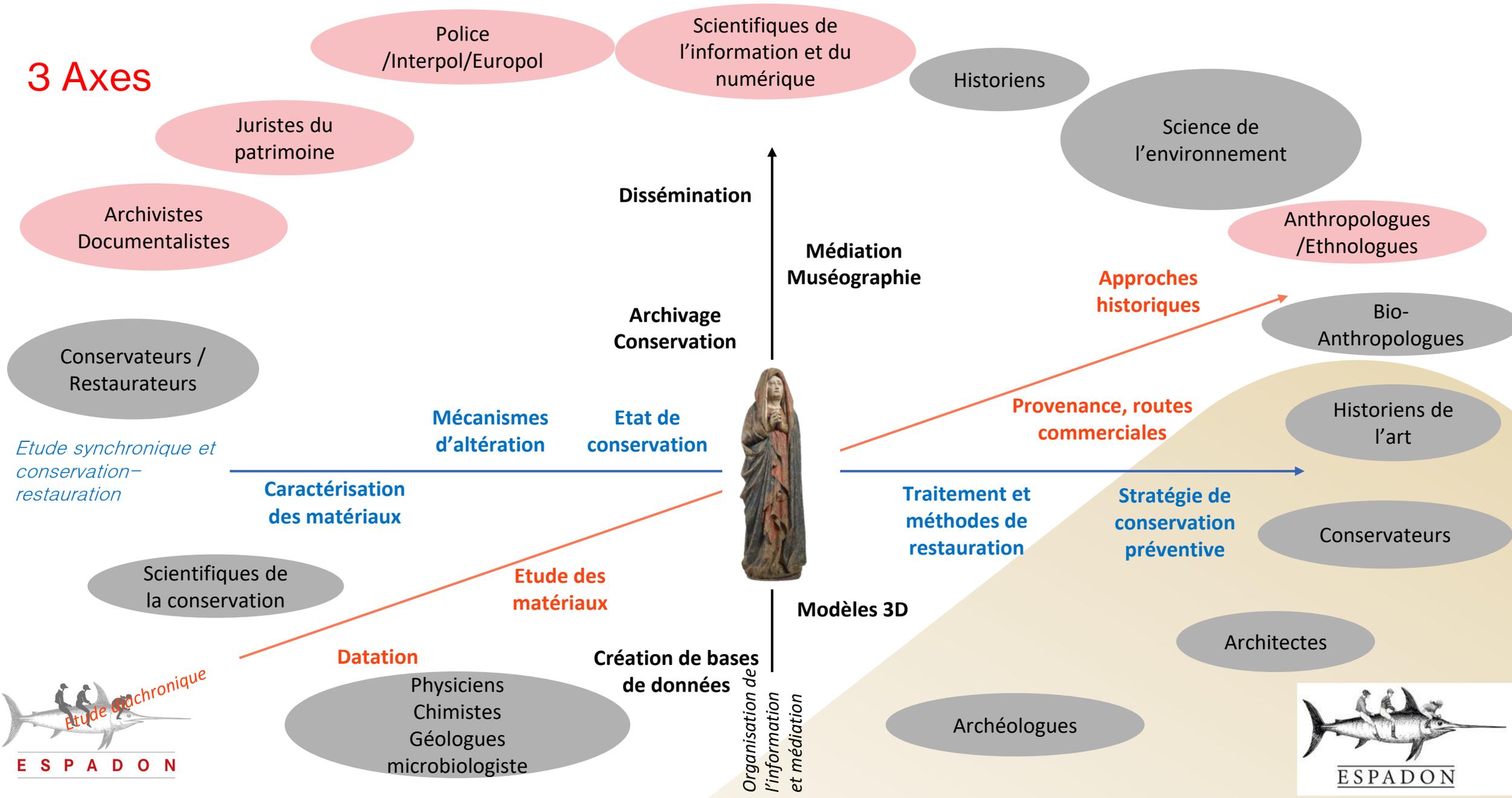
ESPADON

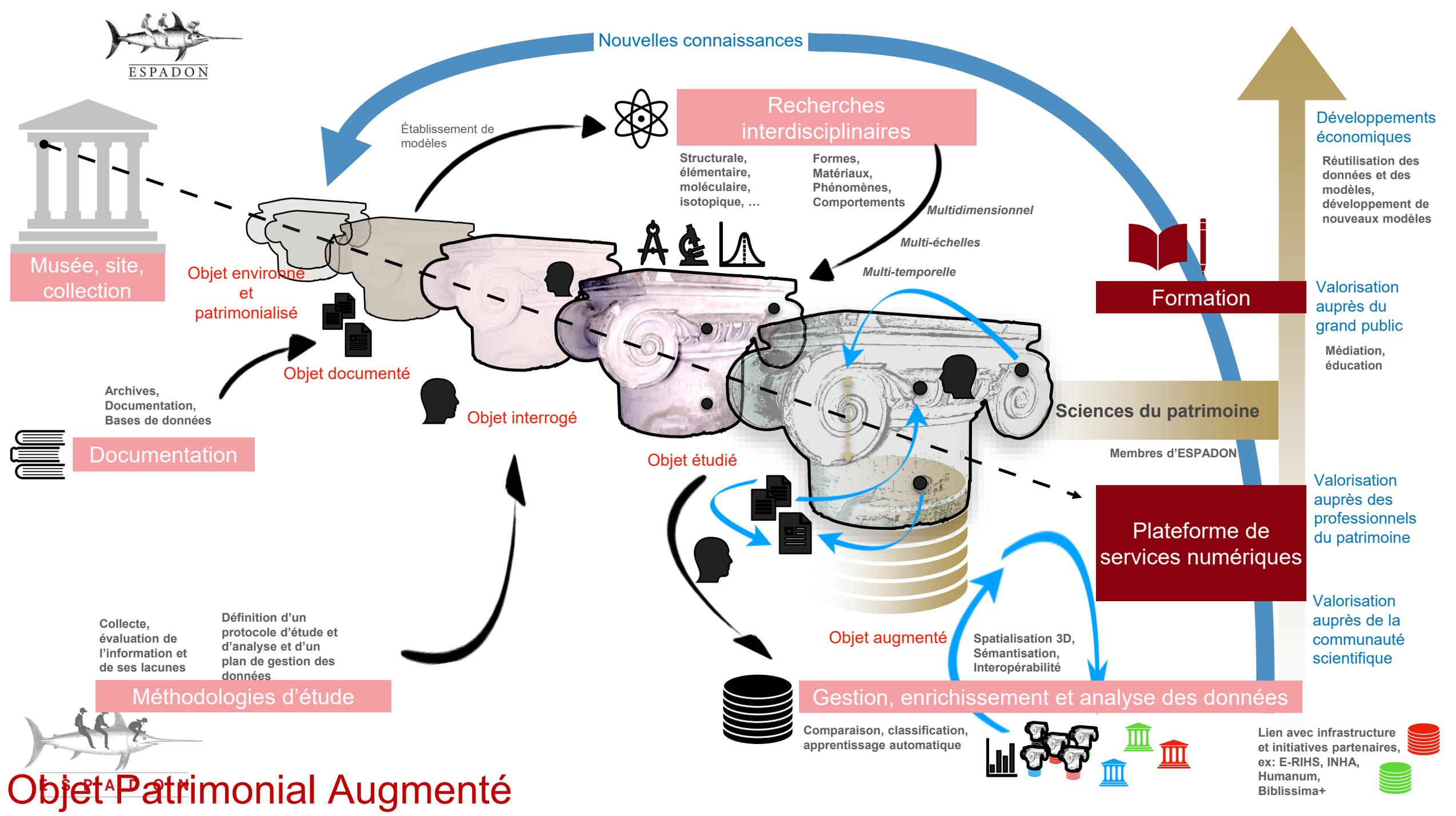


- Implémenter la FAIRisation pour enrichir les possibilités d'accès aux œuvres
- Mise à disposition aux chercheurs et au monde culturel de nouveaux outils
- Offrir de nouvelles possibilités de Formations (FTLV ou Initiales)
- Participer de manière proactive à ESPADON/ DIGILAB/E-RIHS / ECCCH

Les Sciences du Patrimoine : Vers une recherche **transdisciplinaire/collaborative**

3 Axes





Nouvelles connaissances

Recherches interdisciplinaires

Structurale, élémentaire, moléculaire, isotopique, ...
Formes, Matériaux, Phénomènes, Comportements

Multidimensionnel

Multi-échelles

Multi-temporelle

Établissement de modèles

Objet environné et patrimonialisé

Musée, site, collection

Objet documenté

Archives, Documentation, Bases de données

Documentation

Objet interrogé

Méthodologies d'étude

Collecte, évaluation de l'information et de ses lacunes
Définition d'un protocole d'étude et d'analyse et d'un plan de gestion des données

Objet étudié

Sciences du patrimoine

Membres d'ESPADON

Plateforme de services numériques

Objet augmenté

Spatialisation 3D, Sémantisation, Interopérabilité

Gestion, enrichissement et analyse des données

Comparaison, classification, apprentissage automatique

Développements économiques

Réutilisation des données et des modèles, développement de nouveaux modèles

Formation

Valorisation auprès du grand public

Médiation, éducation

Valorisation auprès des professionnels du patrimoine

Valorisation auprès de la communauté scientifique

Lien avec infrastructure et initiatives partenaires, ex: E-RIHS, INHA, Humanum, Biblissima+

Objet Patrimonial Augmenté

ESPADON



WP1 : Tomographie X Imagerie chimique multi-échelle

Corpus
Objets, prélèvements, échantillons de synthèse

François Mirambet
Victor Etgens
Philippe Dillmann

Radiographie X
Tomographie X
CZRMF
Echelle : Macro-Meso
2D/3D

Micro-tomographie X
AST-RX MNHN/CNRS
Echelle : Meso-Micro
2D/3D

Plateformes d'imagerie chimique et structurale
Raman μ XRF/ μ XRD
LAPA CEACNRS
Echelle : Meso-Micro
2D

μ XRF
Micro-tomographie X
XAS
IPANEMA SOLEIL
Ligne PUMA
Echelle : Meso-Micro
2D/3D

WORK PACKAGE 2 : Imagerie IBA AGLAE

Corpus : objets larges et non plats

Thomas Calligaro
Claire Pacheco
Ina Reiche

IBA Imagerie macro-
faisceau avec coordonnées
3D

WORK PACKAGE 3 :

Objets, prélèvements, échantillons de synthèse

Christine Andraud
Agnès Lattuet Durieux
Gael Latour

Imagerie Hyper Spectrale
2D
Information moléculaire

Intérométrie holographique
Surface 3D
Structure

Tomographie en Cohérence
Optique multi longueur d'onde
Volume 3D

LIBS/RAMAN- C2RMF
Surfaces 2D/3D

Imagerie PL
2D
Information moléculaire

Lock-in Thermo IR
3D

P-LEAF
2D
Info. Atomique/
Moléculaire

Microscopie non linéaire/ Tomographie en
Cohérence Optique
Volume 3D
Information moléculaire

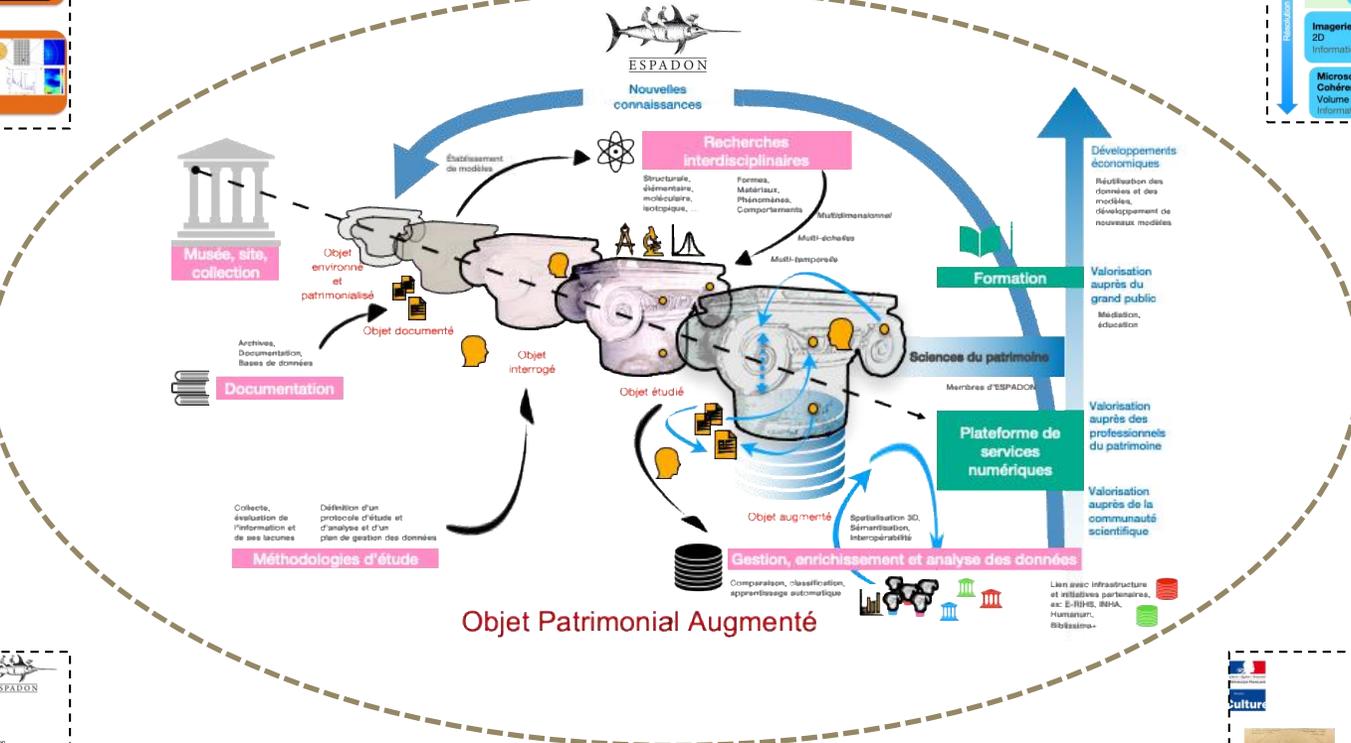
Cohérent anti-stokes Raman
scattering - confocale
Volume 3D
Information moléculaire

WORK PACKAGE 8 : Formation

3 volets:

- Etudiants de L et de M, "labellisation" des éléments de formation déjà existants (ou à créer) et financés par les institutions partenaires (horizon rapproché)
- Doctorants, chercheurs, enseignants-chercheurs: écoles d'été /training-camps (horizon rapproché), financées par le budget ESPADON
- Public plus large (Acteurs des Sciences du Patrimoine): Diplôme d'Université (horizon à 3 - 4 ans), en partie au moins autofinancé
- Actions articulées à ce qui se fait dans le cadre d'E-RHIS France et de l'E-RHIS Academy

Sandie Le Couteur
Pierre Chastang
Anne-Julie Etlar
Léa Orlandi



WORK PACKAGE 4 : Imageries / Monuments historiques

Corpus
Patrimoine culturel immatériel et échantillons

David Giovannacci
Jean-Marc Vallet
Loïc Martinez

3D LIBS-RAMAN-GROTE
Porcède
échelle : microscopie au millimètre
3D surfaub-surface (liée à la programmation), cartographie
Analyse Structurale

3D caméra IR à haute fréquence
Porcède
échelle : microscopie au millimètre
3D surfaub-surface (liée à la programmation), cartographie
Analyse Structurale

Spectrométrie Terahertz 3D
Porcède
échelle : microscopie au millimètre
3D surfaub-surface, cartographie
Analyse Structurale

Imagerie photoacoustique 3D et plateforme de résonance
Transportable
échelle : microscopie au millimètre
3D, cartographie
Analyse Structurale

Vibratoire laser IR 3D
Transportable
échelle : microscopie au millimètre
3D, cartographie
Analyse Structurale

Gonio Imagerie hyperspectrale
Transportable
échelle : microscopie au millimètre
3D, cartographie
Analyse Structurale

MEB analytique équipé d'une cathodoluminescence
échelle : nanoscopie au micromètre
3D, cartographie
Analyse élémentaire-structurale, sur échantillon (table only)

Work Package 7 : Data

RESSOURCES HUMAINES

A. Activités (interface avec les autres WP)

O. Outils services

E. Equipement

TI. Ingénierie

TI. Analyse & Caractérisation

TI. Gestion des données (DG)

TI. Calcul de haute performance (HPC)

TI. Apprentissage machine

TI. Fédération & analyses

WORK PACKAGE 6 : Climat et Patrimoine

Ann Bourgeois
Fabrice Surma

épitopos
MÉSCLA

Le lien entre le climat et le patrimoine

L'avenir de notre passé : comment le patrimoine culturel dans l'avenir pour le futur

WORK PACKAGE 5 : Les Humanités

Philippe Jockey
Romain Thomas

Culture

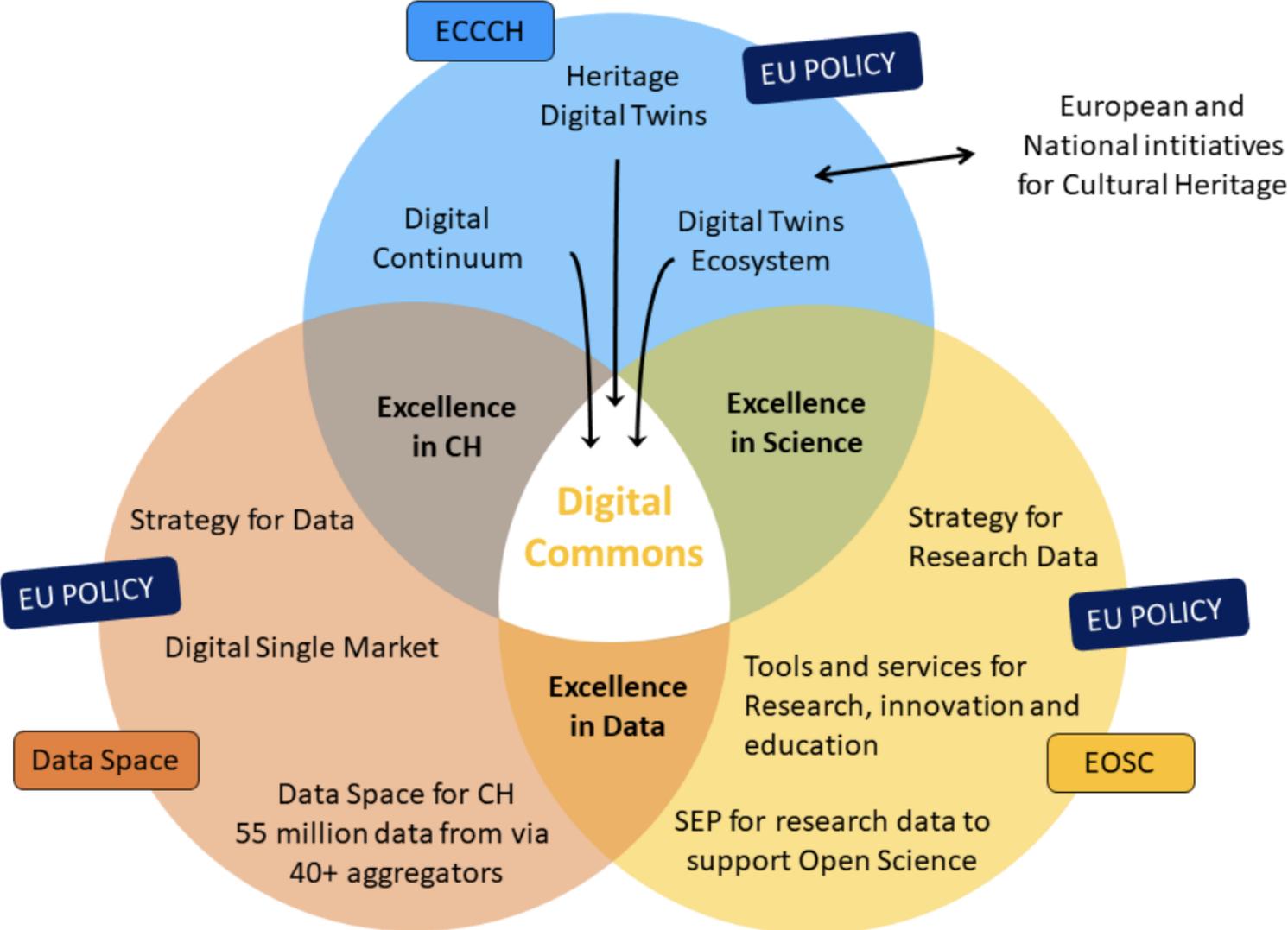
Langues
Philologie
Sémiologie
Papyrologie
Épigraphie
Stéphanologie

numériques
histoire
comme
outils
jeux

- La Fondation des Sciences du Patrimoine a été désignée comme établissement porteur en 2022.
- Reconnue comme infrastructure de recherche depuis décembre 2023.
- Une convention de partenariat a été signée entre le ministère de la Culture, le CNRS, la FSP, Cergy-Paris Université et le MNHN début 2024.
- 16 fournisseurs d'accès, dont 5 non-membres d'ESPADON.
- La création d'E-RIHS Europe est prévue en septembre 2024.
- Elle est soutenue par le projet E-RIHS Implementation Phase.

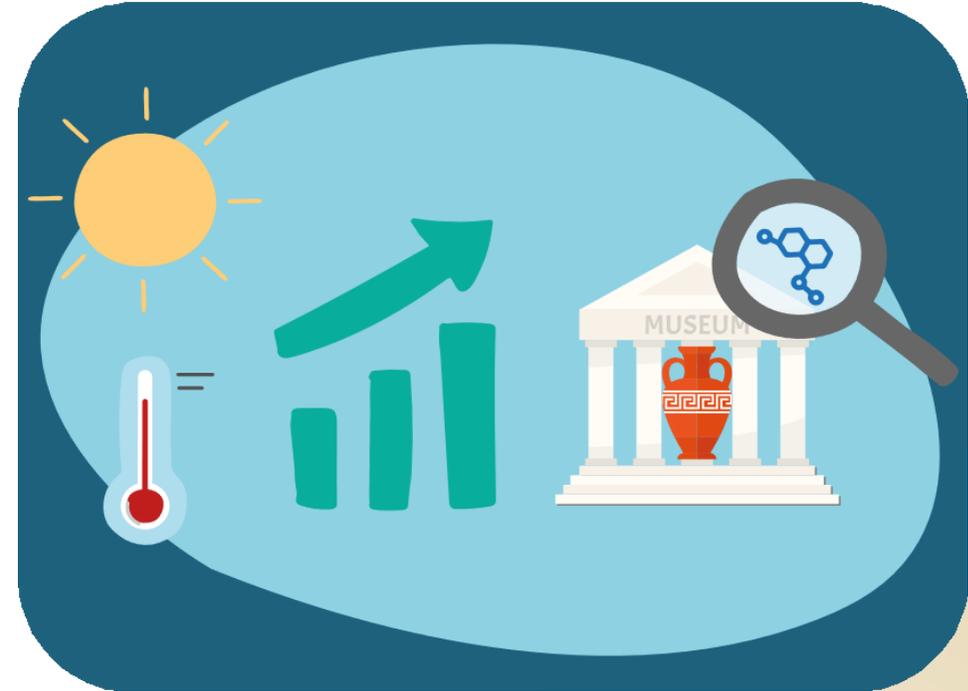


La structuration européenne des données du patrimoine



L'OBJET PATRIMONIAL PRÉSENTE TOUJOURS UNE INTERFACE AVEC SON ENVIRONNEMENT

WP 6 CLIP - CLimat/Interface/Patrimoine



- Une approche multi-dimensionnelle en replaçant l'objet patrimoniale dans un environnement climatique variable.
- L'ensemble de ces données viendront nourrir l'objet patrimonial de son état de conservation actuel et futur, et les moyens mis en œuvre pour en assurer sa pérennité.

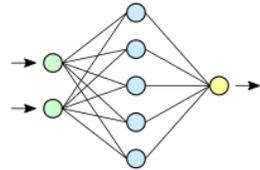
CORRÉLER LES DONNÉES CLIMATIQUES AVEC L'ÉTAT DE CONSERVATION IN SITU SUR 3 SITES ET 3 CLIMATS (THÈSE CIFRE)

1) Suivi climatique des différents sites d'étude

- Flèche de la cathédrale de Strasbourg (67)
- Site archéologique celte de Bibracte (58)
- Chapelle Cocteau – Ville Franche sur mer

2) Modèle de dégradation selon conditions climatiques

- Indice d'altération⁸
- Algorithme par apprentissage artificiel

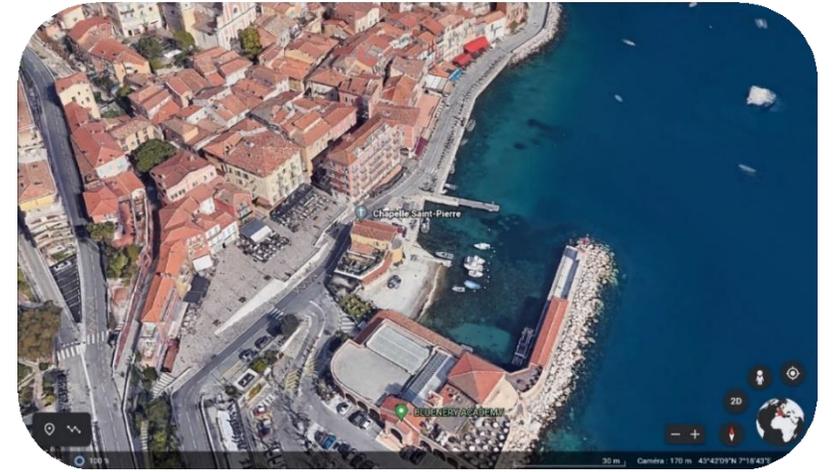


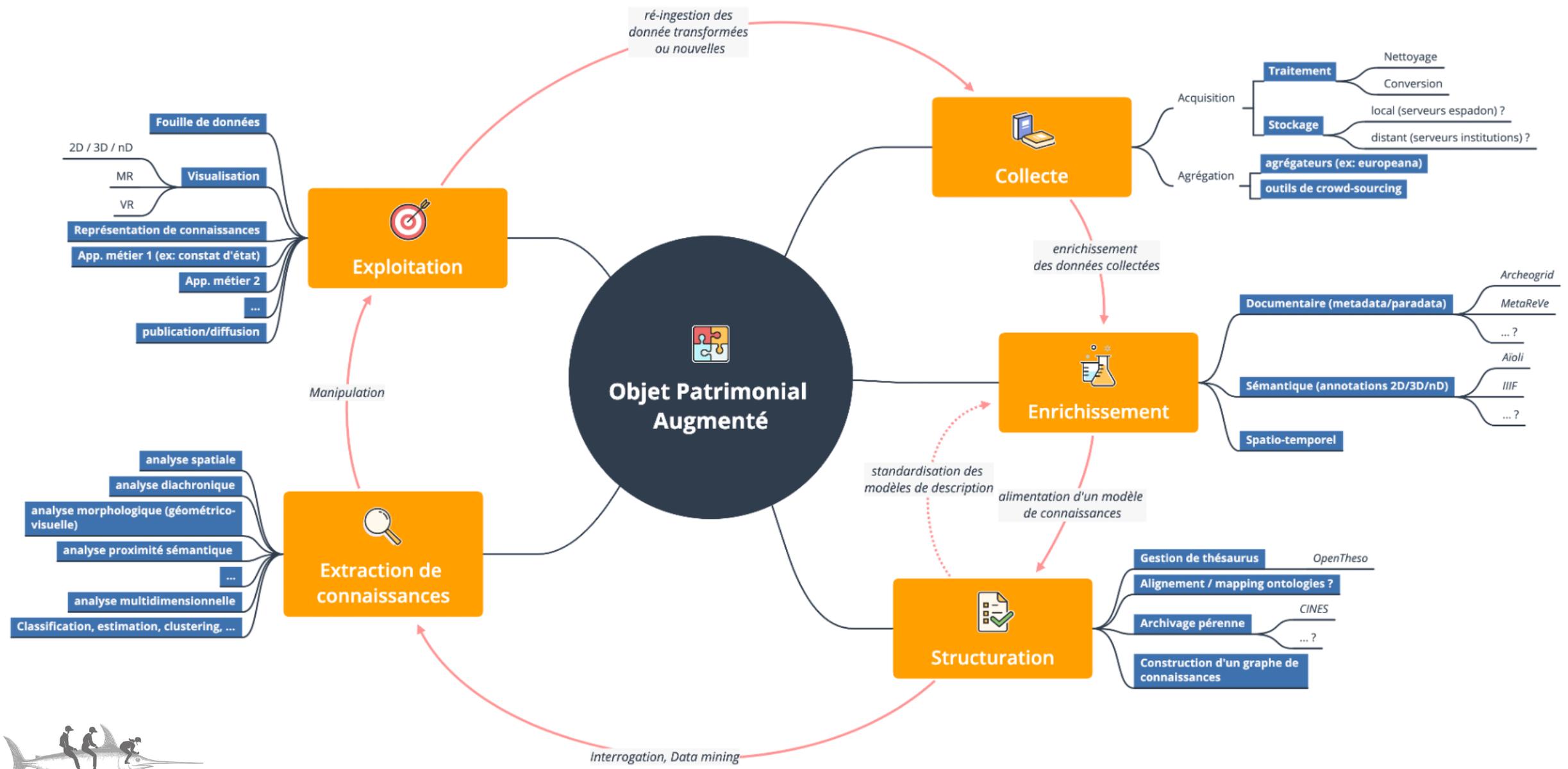
3) Détermination d'un modèle futur

- Modèles climatiques prospectifs : scénarios du GIEC

4) Prévention et adaptations aux risques

- Analyses de risque
- Mesures préventives
- Etablissement d'un plan de prévention

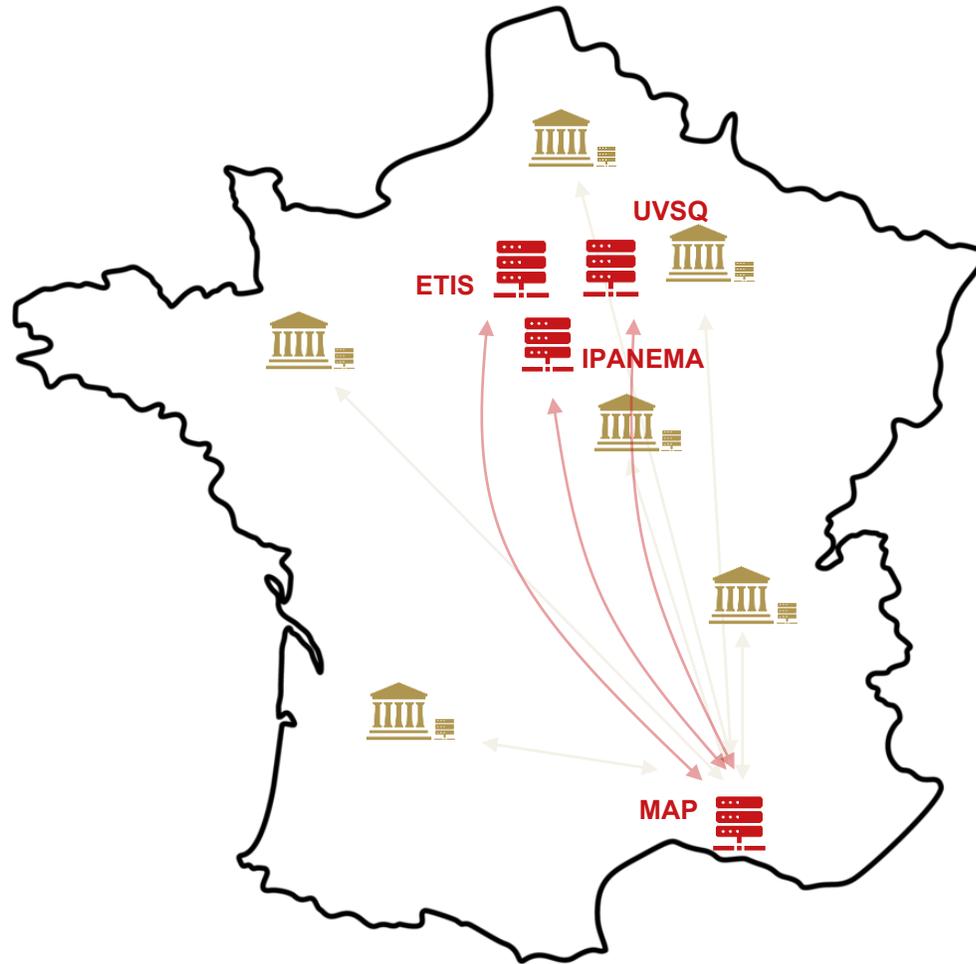




Briques logicielles

- Espadon reposera sur une série de briques logicielles open-source qui fourniront des services essentiels pour l'écosystème. Certaines sont d'ores et déjà en cours de déploiement.
- ✓ Gestion d'utilisateurs
- ✓ Gestion et partage des vocabulaires (OpenTheso)
- ✓ Gestion des identifiants pérennes
- ✓ Visualisation d'imagerie scientifique (IIPImage)
- ✓ Gestion et partage de fichiers (Archeogrid)
- ✓ Annotation et visualisation de modèles 3D (Aïoli)
- ✓ Outil de saisie de constat d'état
- ✓ Cahier de laboratoire électronique (eLabFTW)

Organisation du réseau Espadon

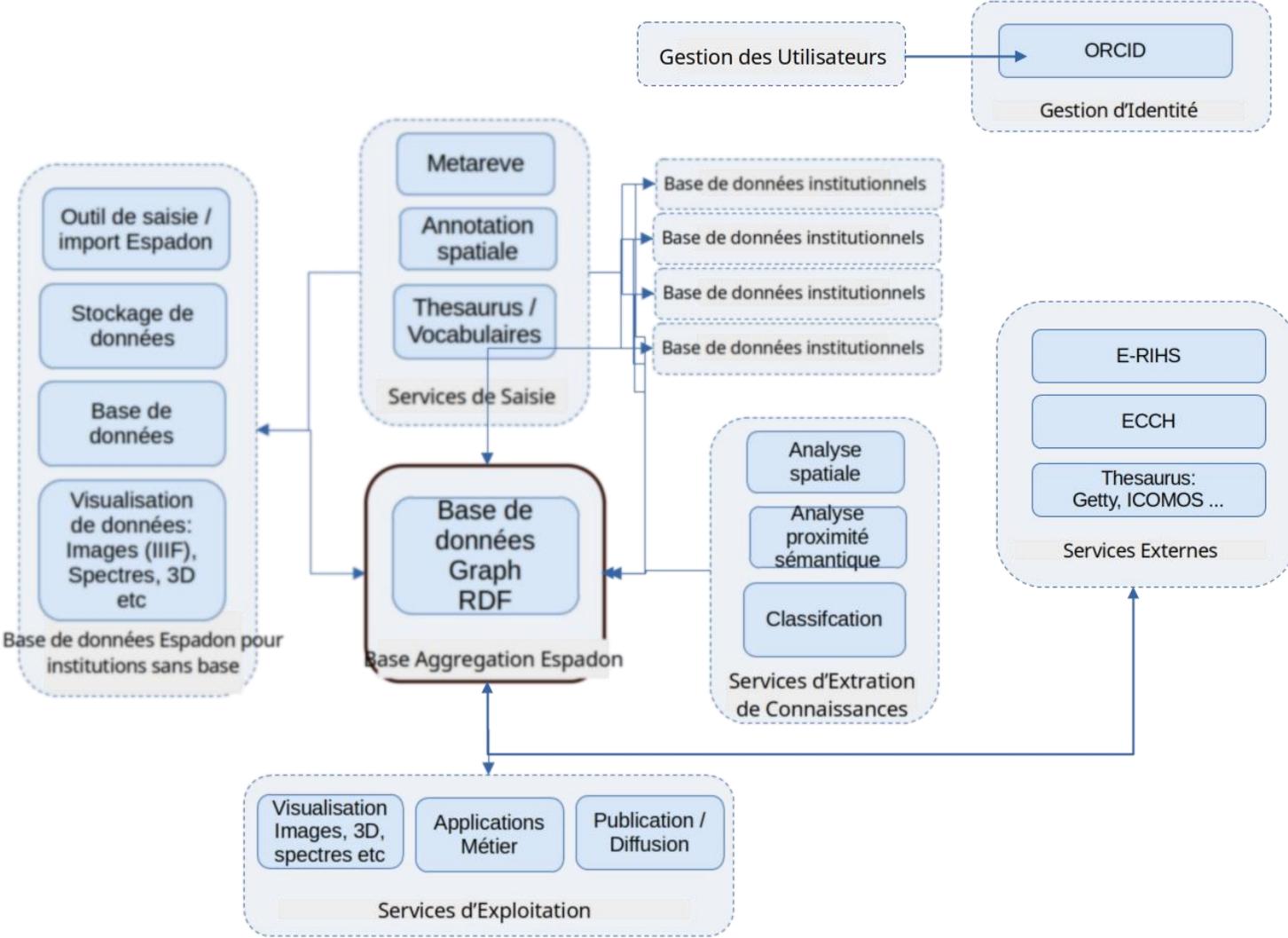


4 serveurs ESPADON financés

- ETIS
- IPANEMA
- MAP
- UVSQ

- IPANEMA déjà opérationnel
- MAP en cours d'installation
- établissement des devis en cours pour ETIS
- UVSQ à venir

Architecture de Services



Méthodologie: un long processus!

- **Cartographie de l'ensemble des métiers et disciplines scientifiques du champ (septembre 2021 – novembre 2021)**
- Définition d'une dizaine de regroupements

Etats généraux du patrimoine

Regroupement	Domaine des sciences du patrimoine	Coordinateurs	Organismes représentatifs et experts
1	Restaurateurs	Dominique Martos, Cécile Aufaure et al.	FFCR, ARAAFU, restaurateurs fonctionnaires
2	Régie, conservation préventive, ...	Juliette Rémy et al.	AprévU, AFROA (régisseurs d'œuvres d'art), FFCR
3	Conservateurs	Isabelle Pallot Frossard et al.	AGCCPF, FEMS, AAF, OCIM,...
4	Documentalistes	Olivier Malavergne et al.	Sociétés des ingénieurs et scientifiques de France
5	Scientifiques de la conservation et Archéomètres	Vincent Detalle et al.	CaiRN, C2RMF, CRC, LRMH, CICRP...
6	Professionnels de la médiation, scénographes...	Marie-Claire Le Bourdellès et al.	Association professionnelle des muséographes, association nationale des guides conférenciers + experts EDL
7	Architectes + conservateurs MH + historiens de l'architecture	Stéphanie Celle et al.	Architectes du patrimoine, Collège des monuments historiques, ANABF
8	Anthropologues, sociologues, juristes... Question des recherches en provenance	Monica Heintz (à définir)	OCBC, ISP Saclay, ICOM France, SMF, SDMHEP
9	Historiens de l'art	Romain Thomas et al.	APAHAU, CFHA
10	Archéologues (universitaires, ...) + philosophes	Ph Jockey et al.	INRAP, APAHAU, MSH Mondes, conservateurs régionaux de l'archéologie, SDA, Anne LEHOERFF (CNRA)
11	Historiens	Pauline Lemaigre (à définir) Valérie Toureille (à définir)	AHMUF, SHMESP + contemporanéistes



Méthodologie: un long processus!

- **Cartographie de l'ensemble des métiers et disciplines scientifiques du champ (septembre 2021 – novembre 2021)**
- Définition d'une dizaine de regroupements

- **Questionnaire (décembre 2021 – septembre 2022) (démarche quantitative)**
- Elaboration d'un questionnaire général adressé aux acteurs des divers domaines
- Tests
- Diffusion la plus large possible de ce questionnaire au début de l'automne – ouvert jusqu'à aujourd'hui!

- **Réunions (automne-hiver 2022-23) (démarche qualitative)**
- Organisation d'une journée par regroupement avec:
 - - des représentants du domaine et de ses principaux organismes (associations, institutions, etc.)
 - - des experts du domaine intéressés par la question des données du patrimoine
 - - des experts DATA spécialisés dans ce domaine

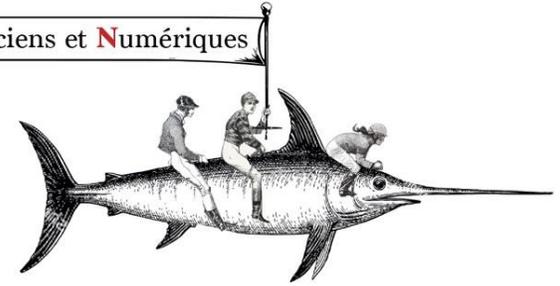
- **Restitution et analyse des réponses au questionnaire (depuis)**



En Sciences du Patrimoine, l'Analyse Dynamique des Objets anciens et Numériques



Fondation
des
Sciences
du Patrimoine



Merci de votre attention

Journées Conservation, Changement Climatique, Sobriété Énergétique dans les demeures historiques



ESPADON



ANR-21-ESRE-0050



Vincent Detalle Coord. Scient.
Romain Thomas (Adj.) / Emmanuel Poirault (Adj.)

Stratégies d'innovation pour répondre à la transition climatique et énergétique dans la conservation préventive

Journées Conservation, Changement Climatique, Sobriété Énergétique dans les demeures historiques

Stéphane Serfaty

Professeur des Universités en instrumentation, *CYU*
Vice-Président, *Fondation des Sciences du Patrimoine*

IPANEMA ANCIENT MATERIALS RESEARCH PLATFORM

1970-2020 LRMH Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

UGA Université Grenoble Alpes

SOLEIL SYNCHROTRON

CRIC CENTRE DE RECHERCHE SUR LA CONSERVATION

ARCHÉOMATÉRIAUX LAPA PREVISION ALTERATION NIMBE UMR3685 GEACNRS et LMC IRAMAT UMR5069 CNRS

Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France

CERGY PARIS UNIVERSITÉ UVSQ UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

{BnF La FSP CHÂTEAU DE VERSAILLES LOUVRE

inp Institut national du patrimoine

Ecole du Louvre

École nationale des chartes

énsa-v école nationale supérieure d'architecture de versailles

musée du quai Branly LA OÙ DIALOGUENT LES CULTURES

Centre Pompidou

INHA institut national d'histoire de l'art

ARCHIVES NATIONALES

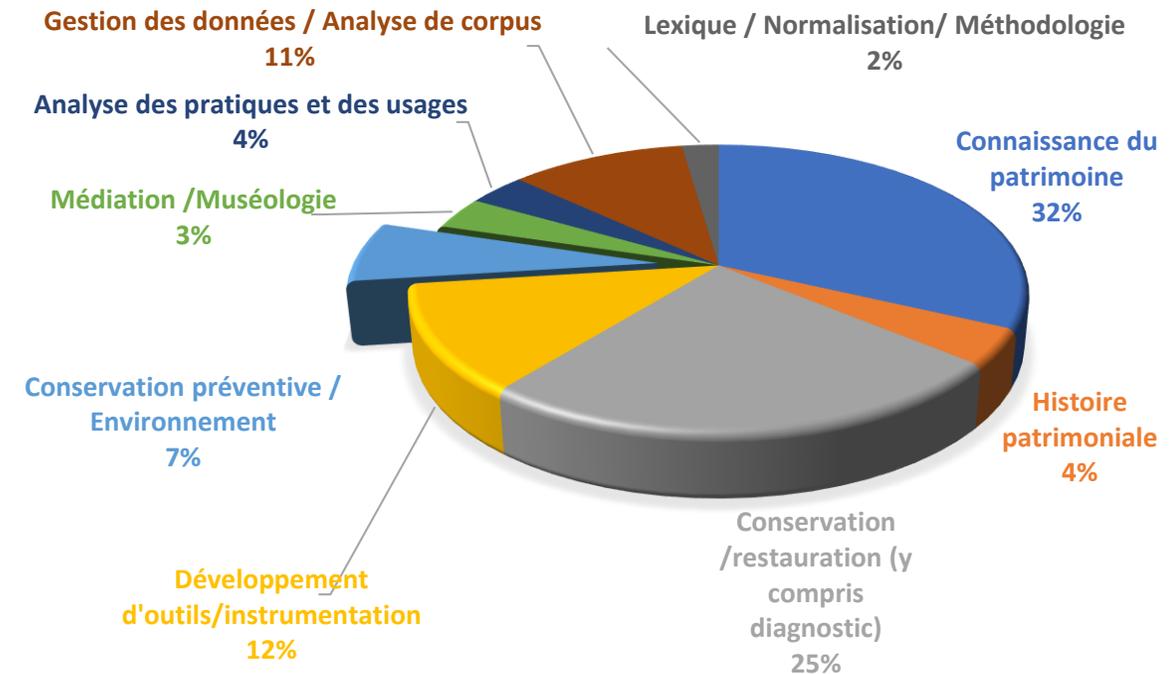
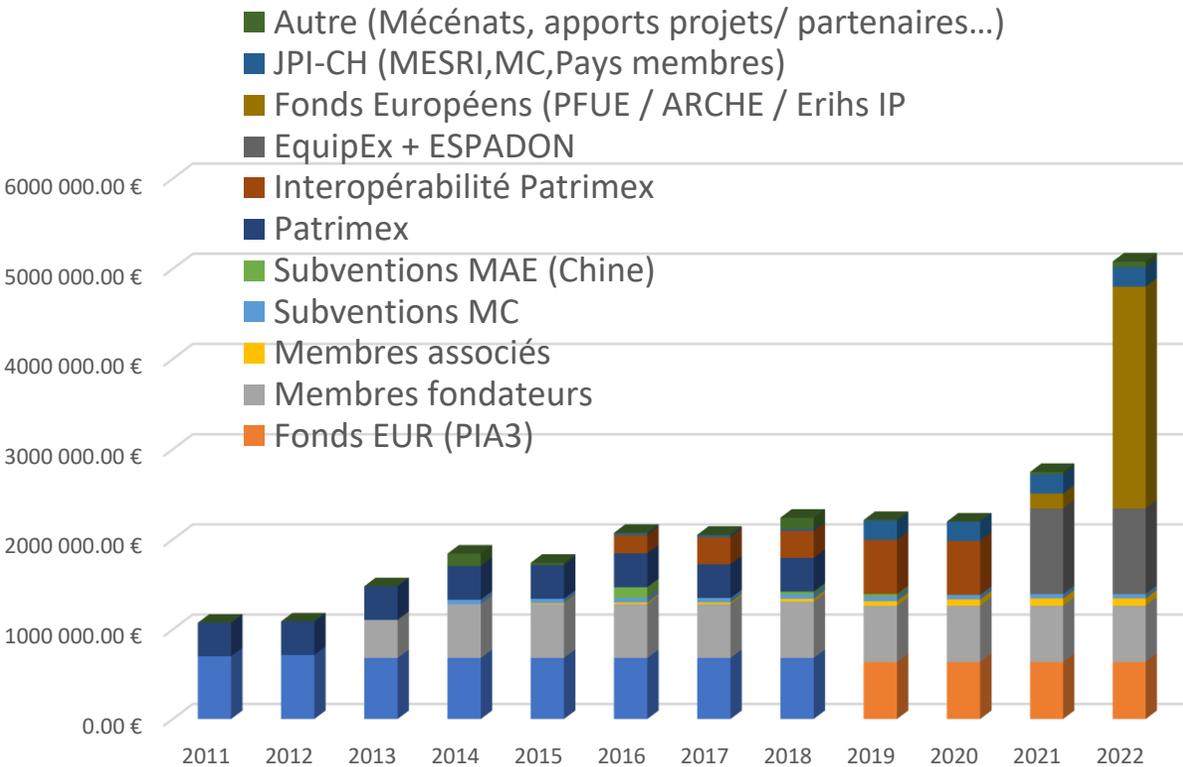


La FSP en chiffres

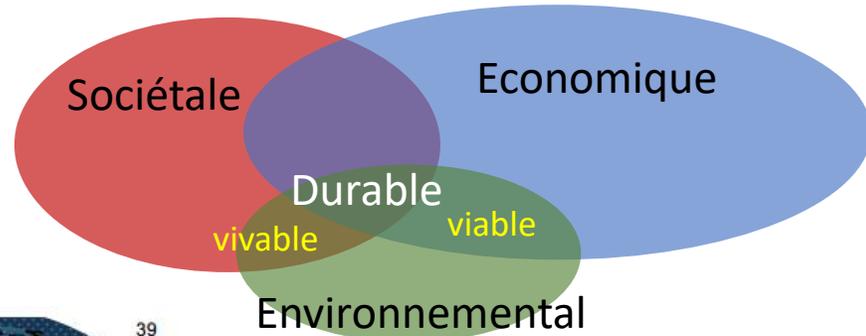
- **27 M€** affectés depuis 2011 pour la recherche en sciences du patrimoine

- **Près de 35** laboratoires concernés
- **95** thèses initiées par la FSP (65 soutenues)
- **102** projets post-doctoraux
- **94** bourses de master

BUDGET ANNUEL DE LA FSP

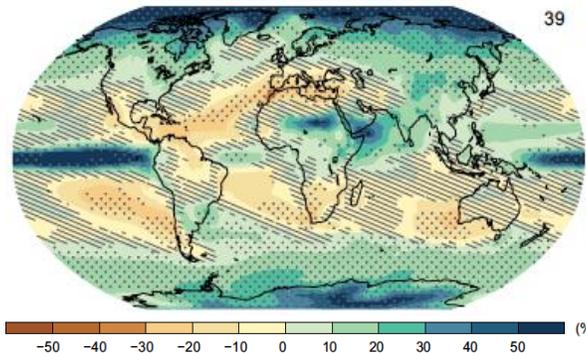
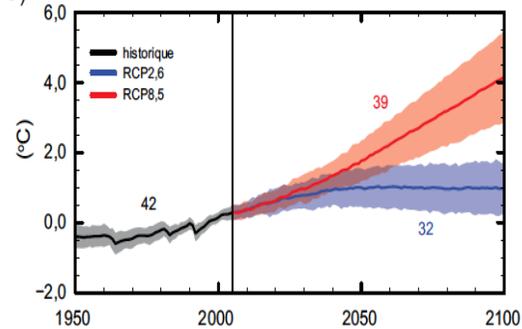


La conservation dans un contexte mondial de développement durable et de responsabilité sociétale



Déséquilibre environnemental et sociétal

a) Évolution de la température moyenne à la surface du globe



Evolution de la température et des précipitations moyennes (2081-2100)

Détérioration de l'environnement

- Pollutions air, sol, eau
- Epuisement et pollutions des ressources...
- Destruction et fragmentation des milieux naturels = Perte Biodiversité

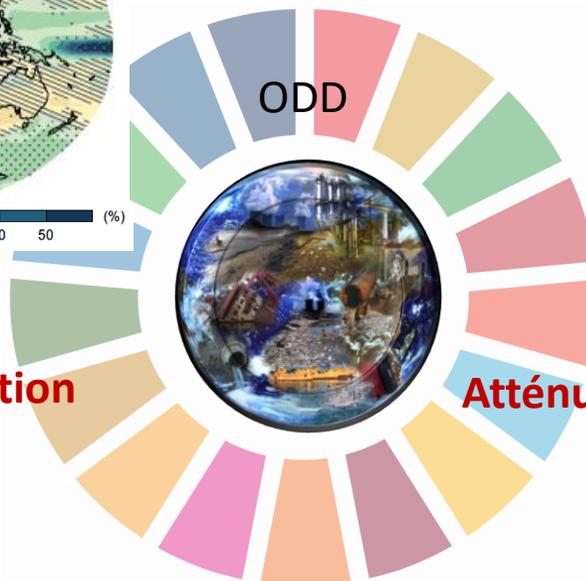
Développement des activités humaines
Industrielles, Urbanisation...

Contraintes

- Surexploitation des ressources naturelles (sol, sous-sol, eau, forêt...)
- Accroissement des déchets, rejets, émissions de gaz à effets de serre...
- Etalement urbain et bétonisation ...

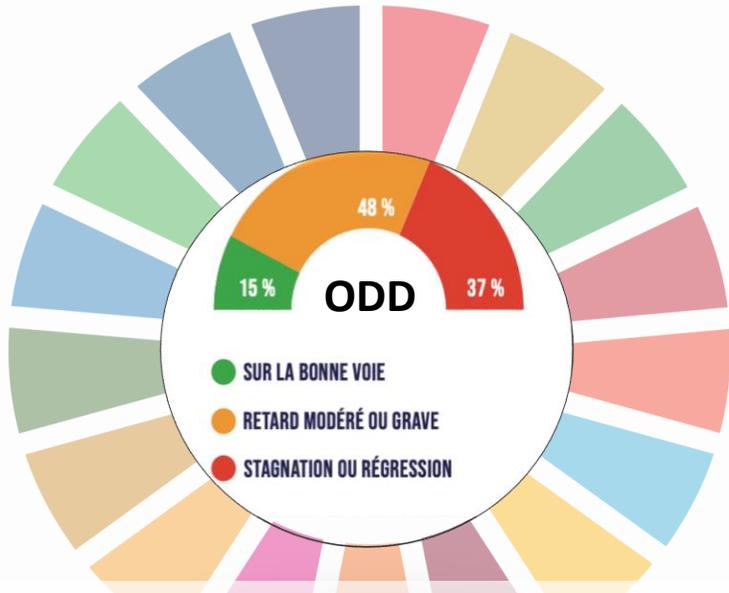
Adaptation

Atténuation



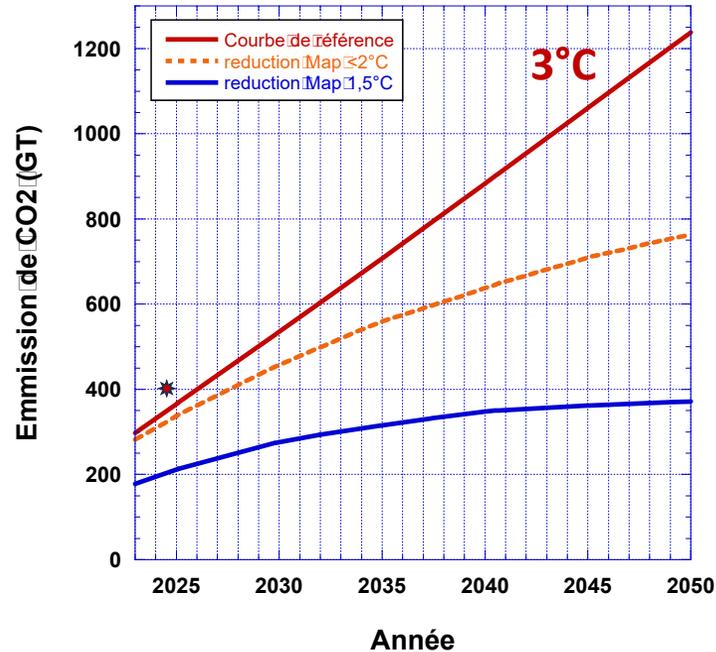
Contexte politique mondial

17 objectifs mondiaux de développement durable



Politique pour l'intégration d'une perspective de développement durable adoptée à la Convention du patrimoine mondial de l'UNESCO (2015)

Urgence climatique impactant la stratégie énergétique



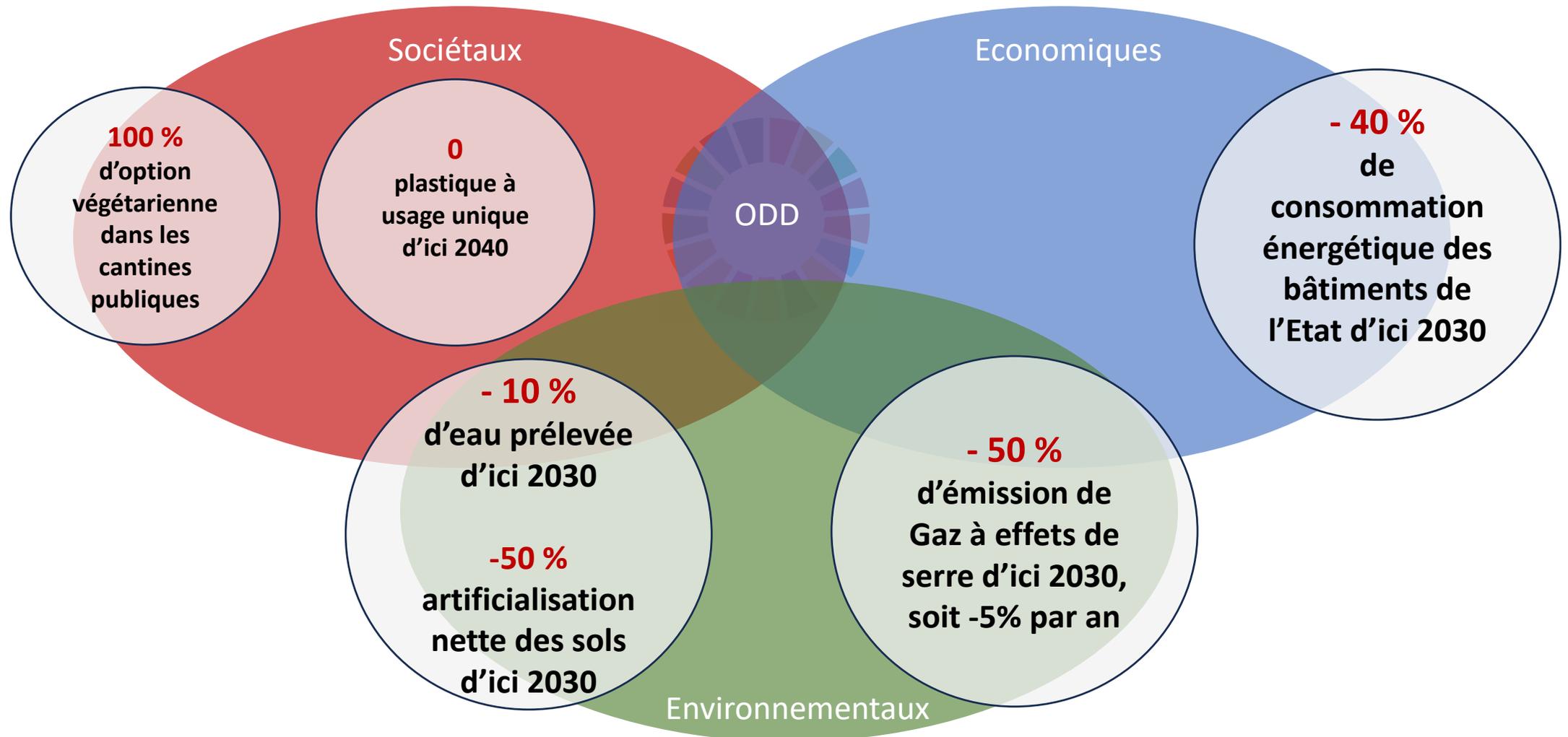
Irena, *Global energy transformation: roadmap to 2050*, 2018
<https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>

En France alignement sur le Green deal

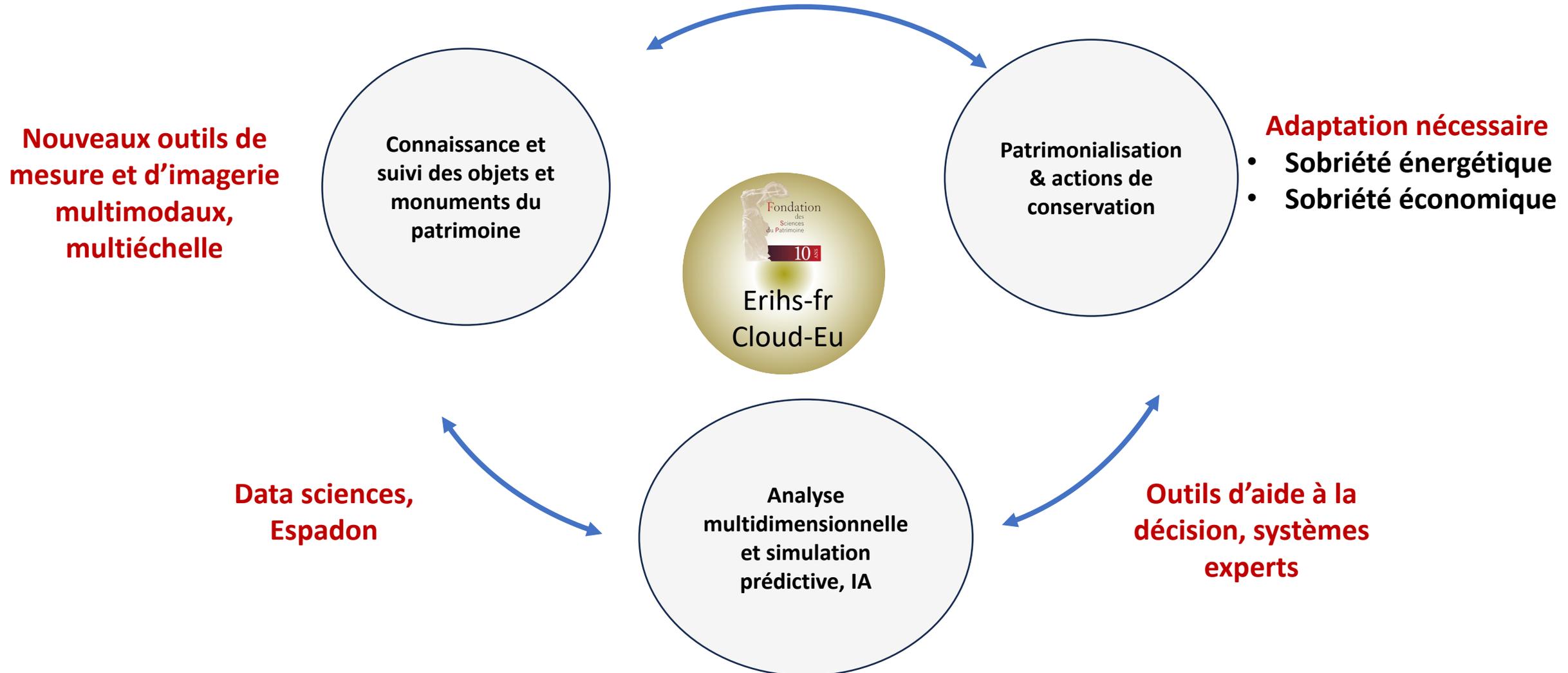


<https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>

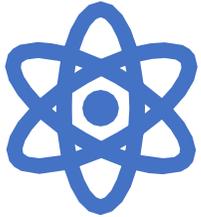
Engagements de l'état d'ici à 2040 en lien avec la conservation



La vision systémique de la FSP en 3 piliers



Une approche d'innovation systémique transversale commune



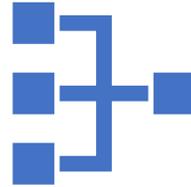
Compréhension de l'impact environnemental complexe sur l'ensemble des corpus dans les monuments historiques

Suivi long terme d'objets hétérogènes,

- Résolution des problèmes inverses
- Data fusion & Identification

Compréhension individualisée des interactions Physico-chimiques & biologiques ET de leur impact macroscopique

- Nouveaux outils de mesure et d'imagerie sélectifs & sensible à différentes longueurs d'onde



Monitoring des processus de vieillissement, analyse de données massives et modélisation pour la prédiction

Analyse multimodale et multidimensionnelle

- Short- and long-range interactions & transitions
- Relaxation time Continuum

Développement de modèles prédictifs & statistics (à faibles échantillons)

- Deep Learning multimodal & traitement de données massives
- Outils d'IA pour de la prévention prédictive
- Cybersécurité

Co-design

- Models & signal processing
- Instrumentation



Nouveaux outils & systèmes de mesure multidimensionnels prédictifs

Systemes d'aide à la décision (incluant l'ensemble des facteurs y compris économiques)

Conclusion : La conservation préventive, un métier en mutation

- **Transition écologique**

=> Objectifs de décarbonation des états
(-55% d'ici 2030 pour la France)

L'IFTF
(Institute for the future)

- **Transition Energétique**

- Stratégie d'énergies renouvelables
- Décarbonation des mobilités

Efficacité énergétique
Usages, 30% ; sobriété, 70%

- **Nécessité de transversalité :**
- **Savoir-faire et compétences complexes**
- **85% des métiers en 2030 ne sont pas connus**
- **Outils et modèles prédictifs pour les monuments historiques intégrant les objets**

De nouvelles pratiques

FutuRIS



Le Livre blanc des **Open Labs**
Quelles pratiques ? Quels changements en France ?

- **Transition numérique**

4000 entreprises interrogées dans le monde

- Facteur de réussite (73% des entreprises)
- Data sciences
IA générative (gen. data autonome),
IA interactive (taches complexes + human on the loop)

Risque d'obsolescence des pratiques dans les 3 à 5 ans (45%)