

Let's imagine you 'touch' history



Eglise  
Saint-Similien



Saint

SAINTE-SIMILIEN SUR LA MAGUETTE SAINTE-SIMILIEN DE PIERRE-AUGUSTE  
SAINTE-SIMILIEN DE PIERRE-AUGUSTE



# KLM for Heritage

*Vers une humanisation de l'industrie par les connaissances patrimoniales*

*ou*

*Comment considérer le patrimoine comme pilier de connaissances pour construire un futur durable*

Soutenance Habilitation à Diriger les Recherches - 8 décembre 2017  
Florent Laroche, Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes

# Sommaire

1

Mes parcours

2

Objectifs de recherche

3

Focus sur les contributions majeures

4

Mon projet de recherche

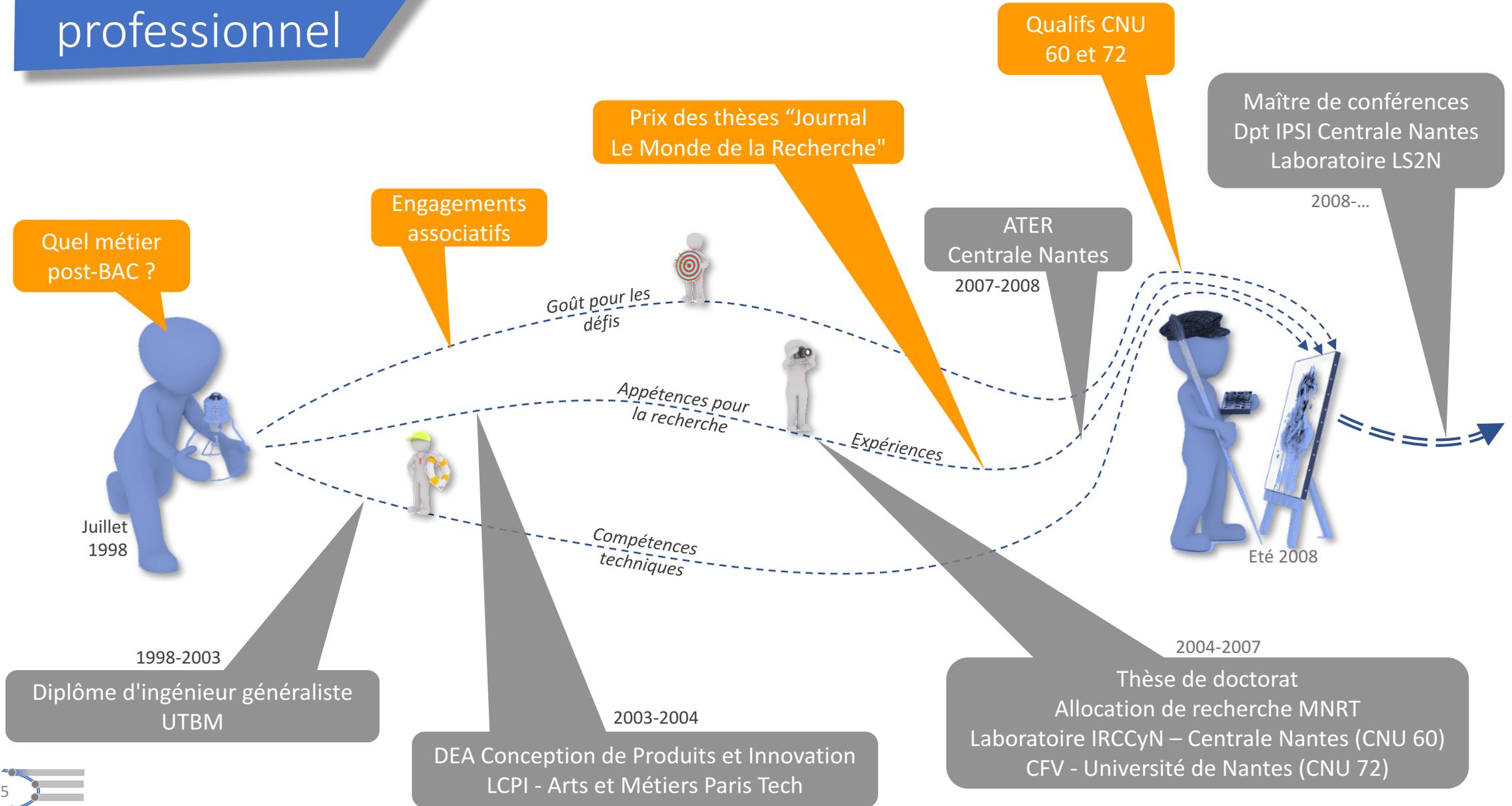
CONTENT



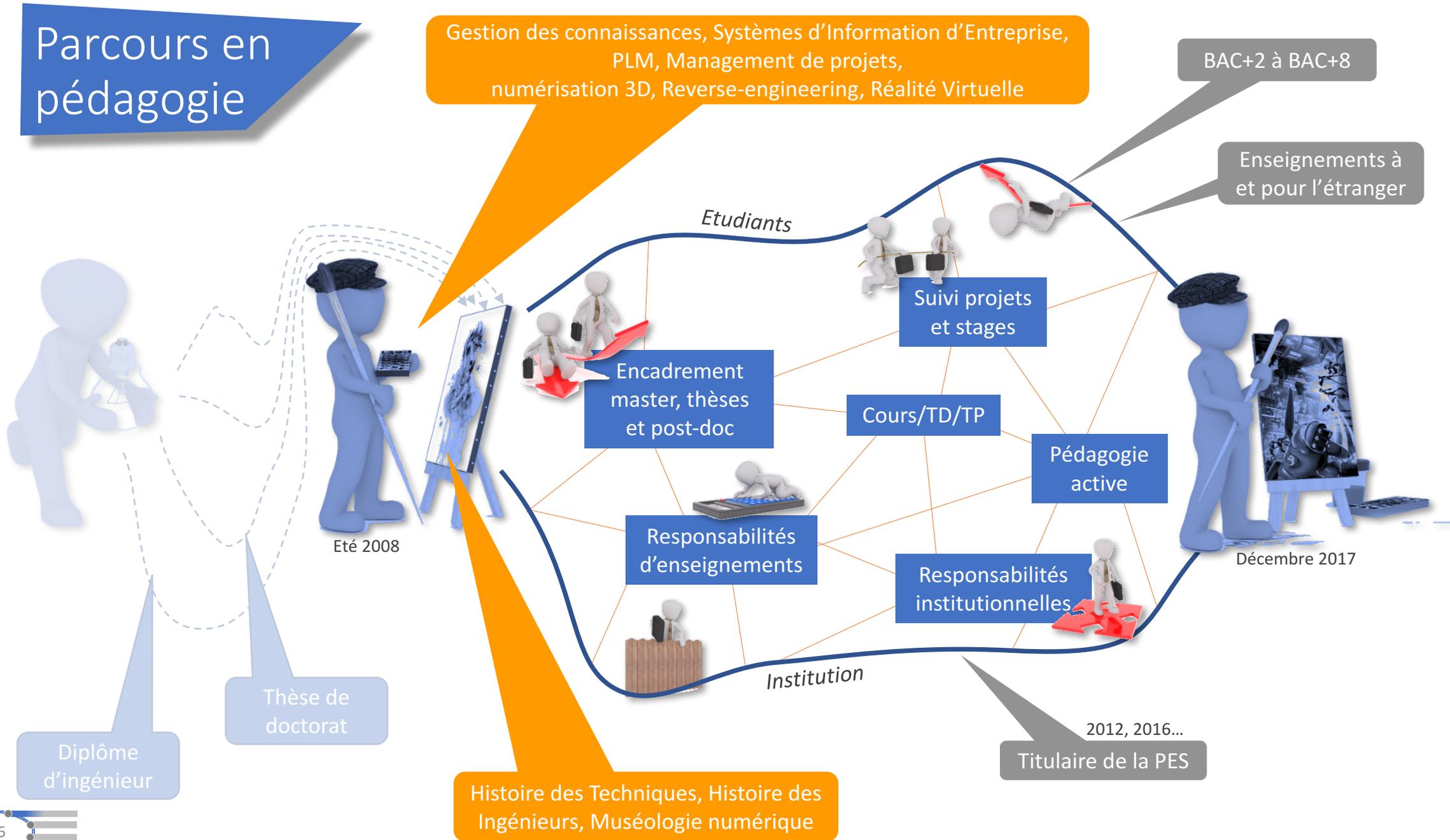
A chacun son parcours  
professionnel



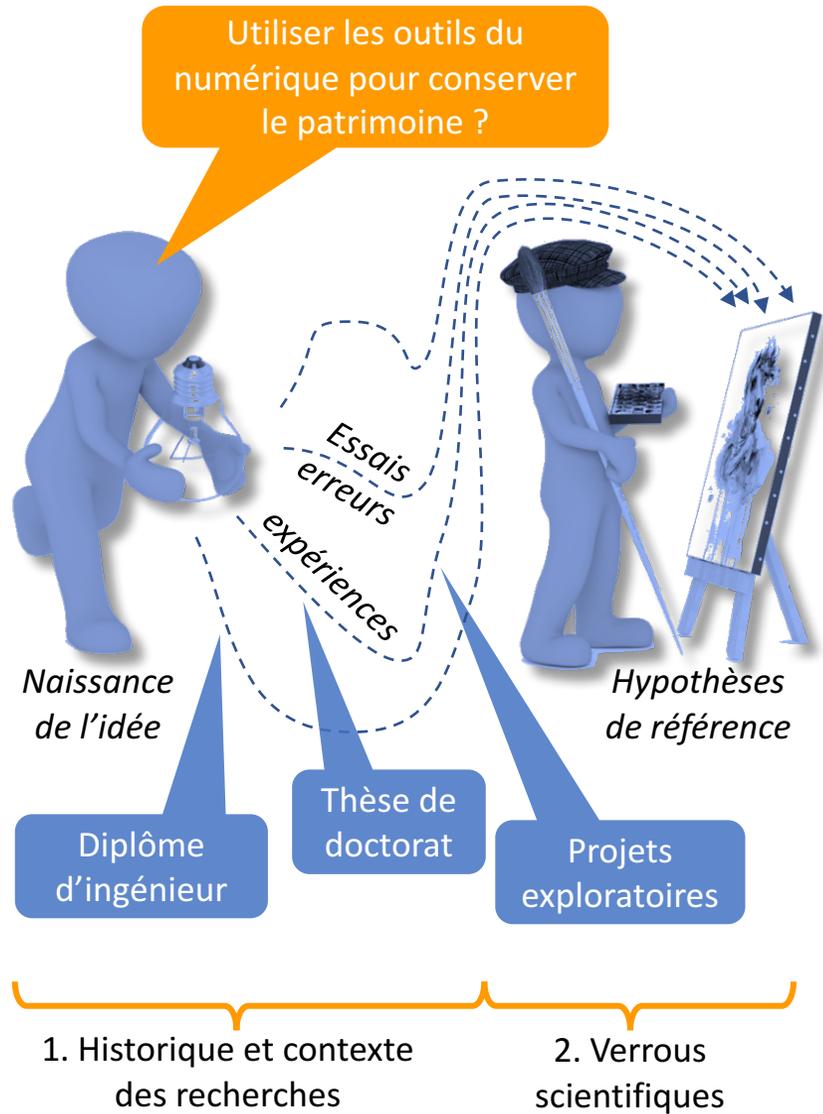
# Parcours professionnel



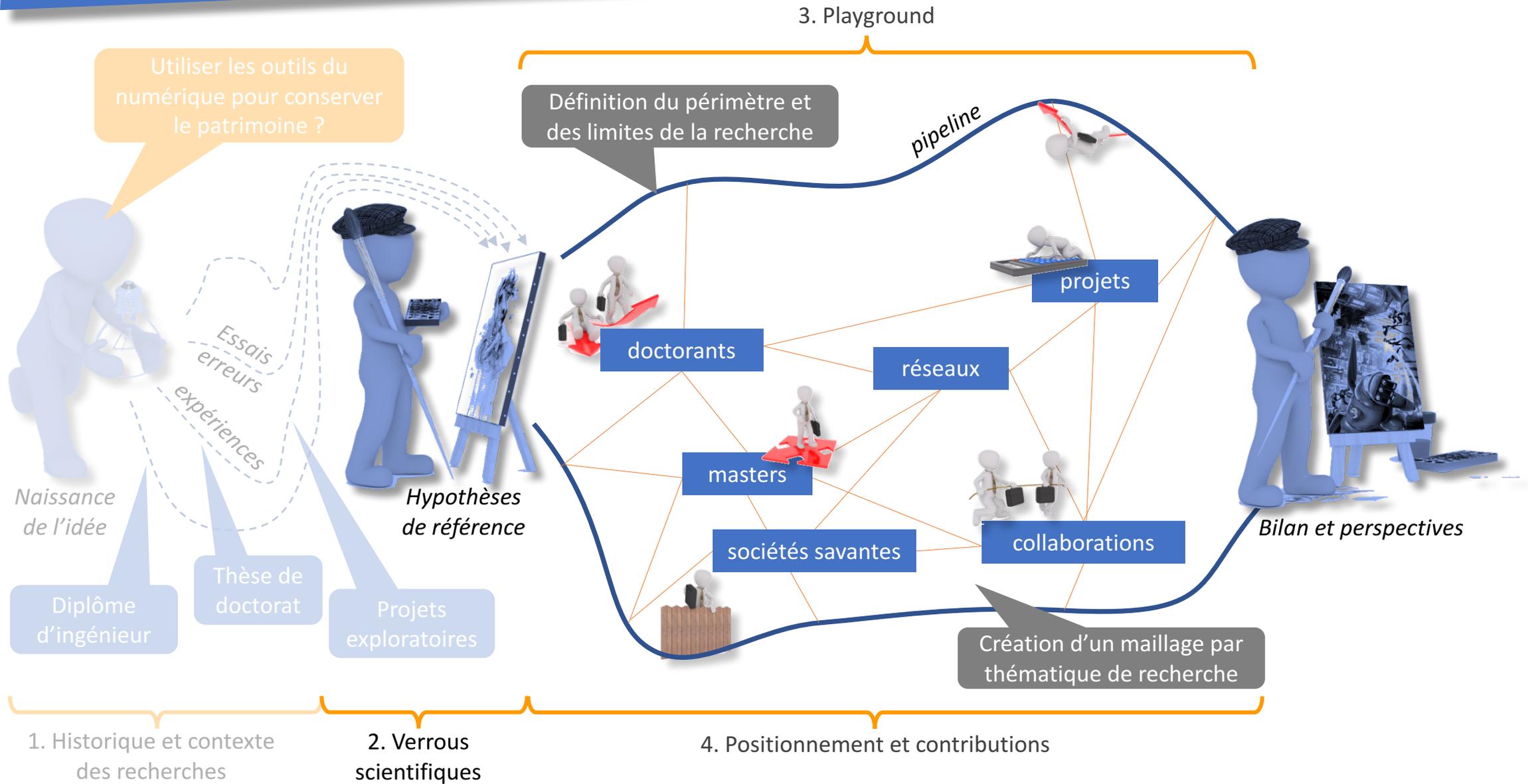
# Parcours en pédagogie



# Parcours scientifique



# Parcours scientifique



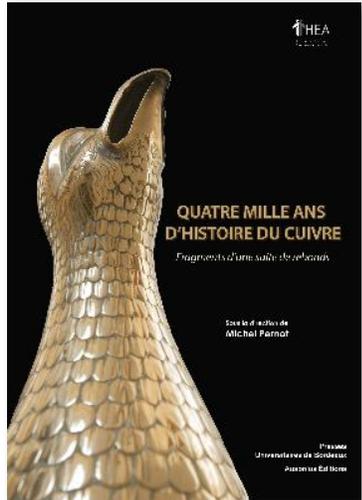
# Bilan recherches



Prix Nantes1900



[Guillet, Courtin, Laroche, Kerouanton 2015]



[Lassalle, Arvieu, Laroche 2017]

- 10 thèses de doctorat (dont 6 soutenues)  
+ 2 post-doctorants  
- 8 jurys de thèses

Reviewer (revues et conférences internationales)

Fédérations / Sociétés savantes :  
- 4 réseaux régionaux  
- 6 réseaux nationaux (GDR-MACS, S.mart, Consortium3D...)  
- 2 réseaux internationaux (CIRP, ICOMOS)

Implication dans la communauté scientifique

13 conférences internationales /nationales  
comme chairman, co-chairman ou co-organisateur

Responsabilités scientifiques de projets :  
- 16 contrats européens, ANR, région, institutions ou industriels (budget cumulé 1,5 M€)  
- ANR [www.reseed.fr](http://www.reseed.fr) : coordinateur scientifique, 4 ans, 8 partenaires, budget 1,5 M€

# Bilan valorisation de la recherche

Plus de 200 communications, soit 14 / an :

- 19 revues internationales et 16 revues nationales dont 14 revues à facteur d'impact de 0,71 à 5,02
- 19 chapitres d'ouvrages
- 1 livre en tant qu'éditeur
- 51 conférences internationales et 26 conférences nationales (avec comité de lecture et actes)
- 72 keynotes ou conférences et séminaires invités

Valorisation

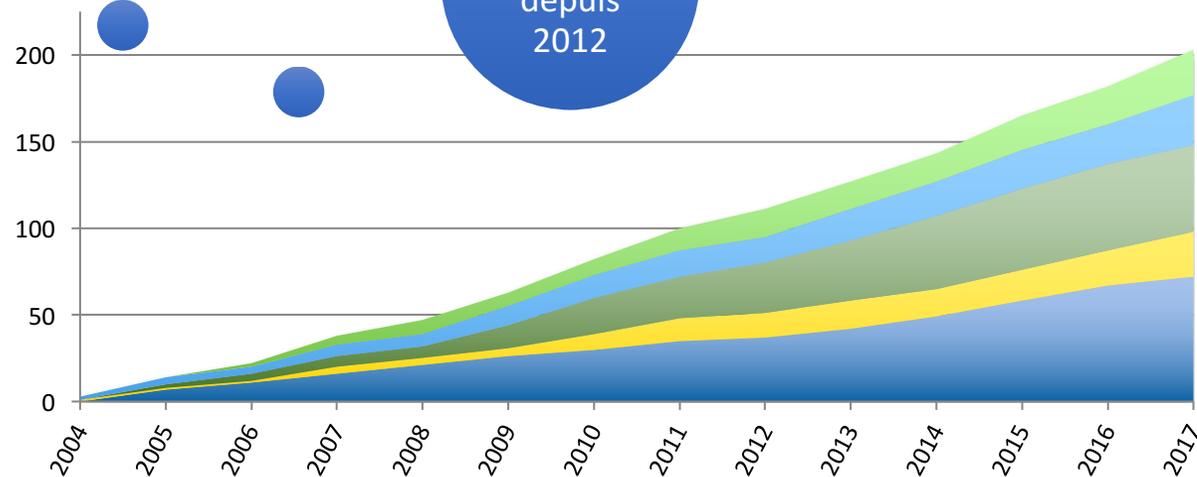
H-Index : entre 12 et 18 selon l'indicateur

8 prix et distinctions : papers award, thèses ou projets

1 dépôt de brevet logiciel en cours

Titulaire de la PES depuis 2012

- Revues et ouvrages internationaux
- Revues et ouvrages nationaux
- Conférences internationales avec actes
- Conférences nationales avec actes
- Conférences sans acte



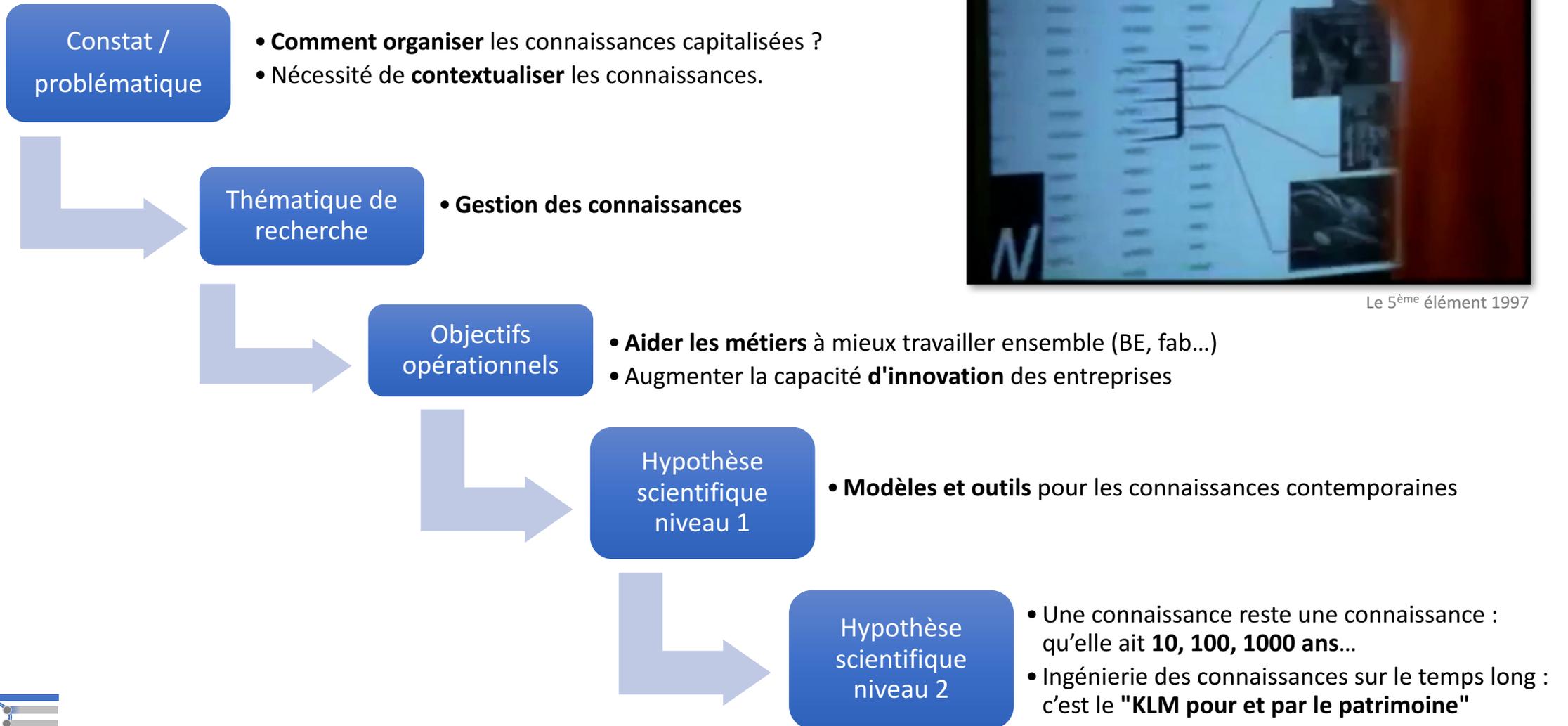


Vers un patrimoine numérique...



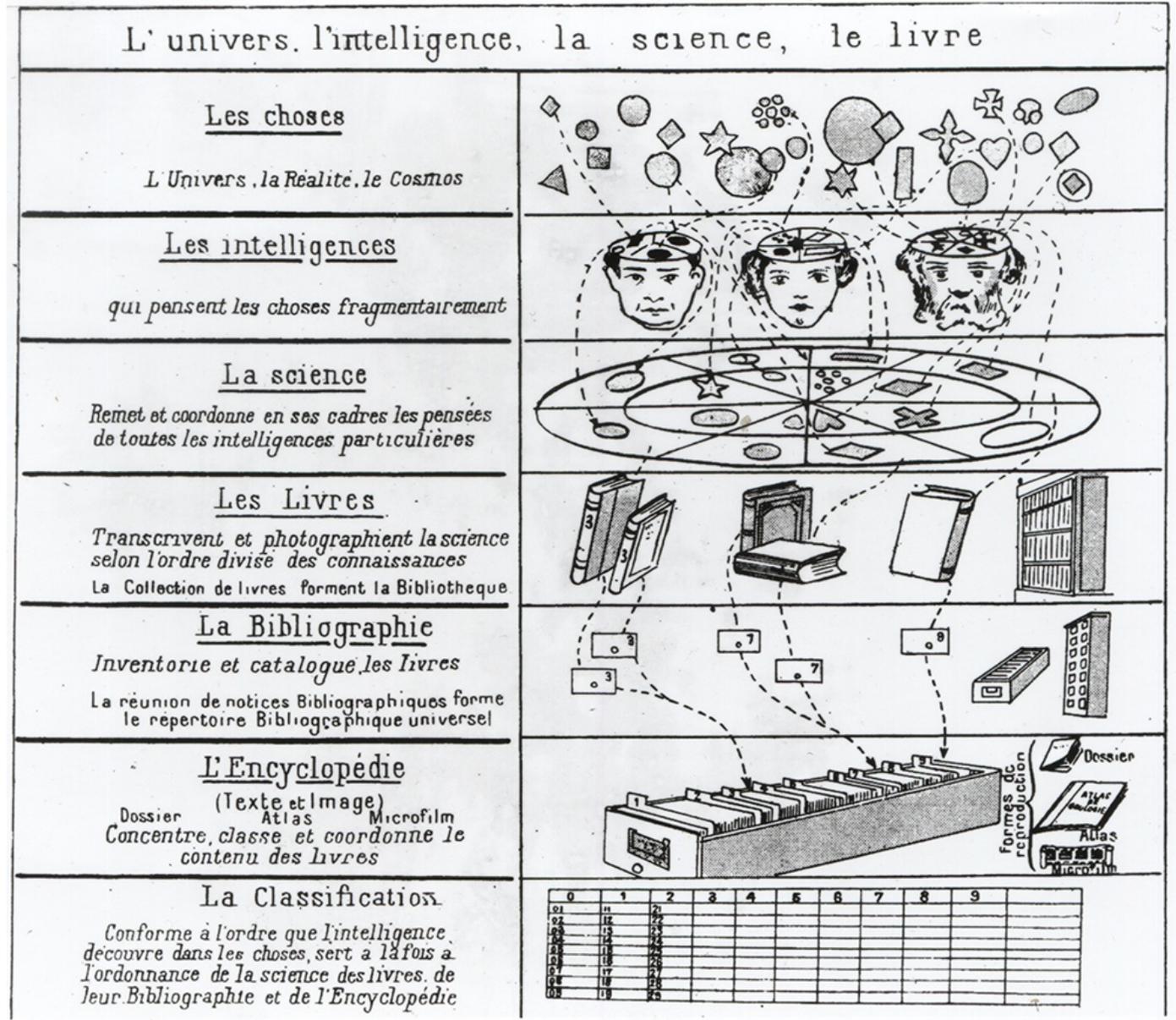
1<sup>ère</sup> question de recherche...

# Verrou scientifique n°1 : *Vers des connaissances numériques ?*



Une réponse...  
...le Mundaneum

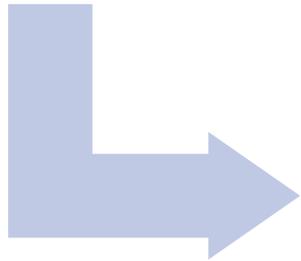
[Paul Otlet 1895]



# Verrou scientifique n°2 : *Entre représentations réelle et virtuelle des connaissances ?*

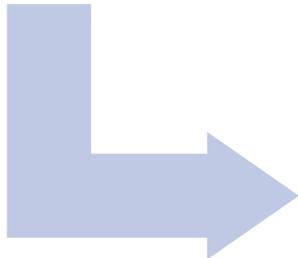
Constat /  
problématique

- « On est bien loin de l'usine et de l'atelier, du bruit et de la poussière, de la fatigue et de la sueur, de la fureur des luttes et de la violence des rapports sociaux... » [Paul Rasse]



Objectifs  
opérationnels

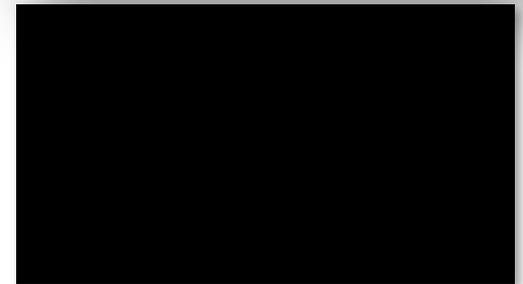
- « Des maquettes réelles aux maquettes virtuelles »
- « Du musée réel au musée virtuel »



Hypothèse

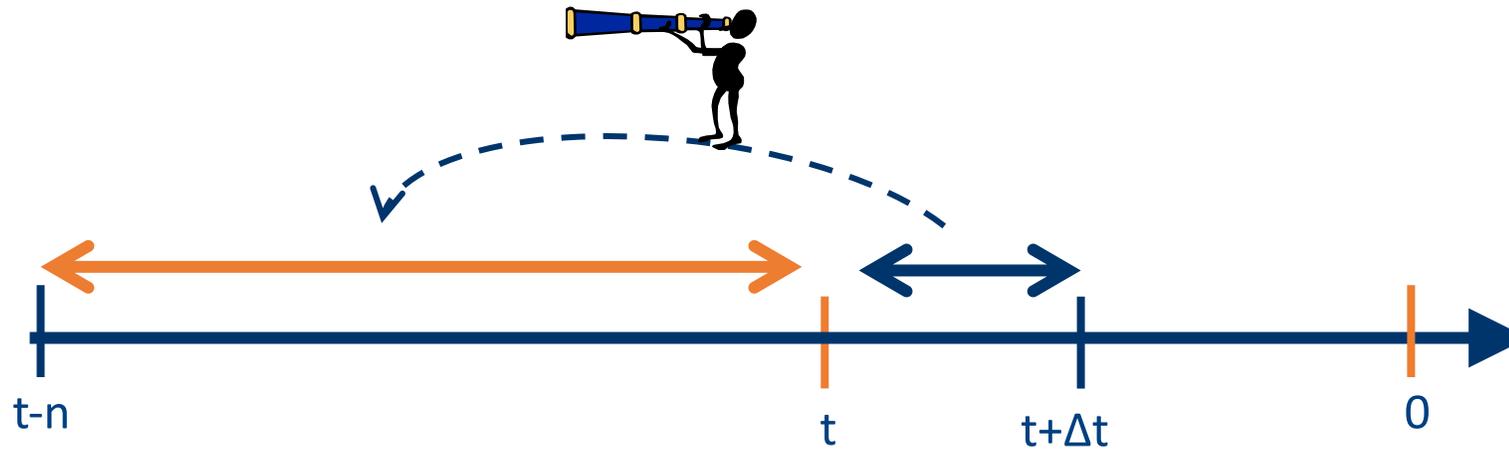
- Digitaliser les collections patrimoniales... et les musées ?

Musée des Arts-et-Métiers, Paris



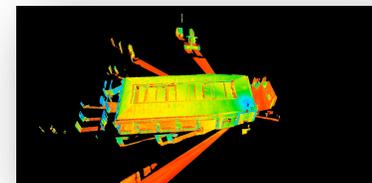
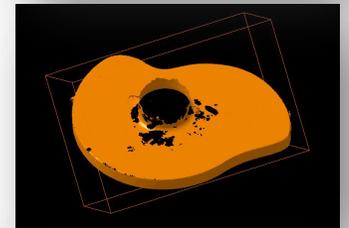
Minority report 2002

# Hypothèse : *Digitaliser notre patrimoine ?*



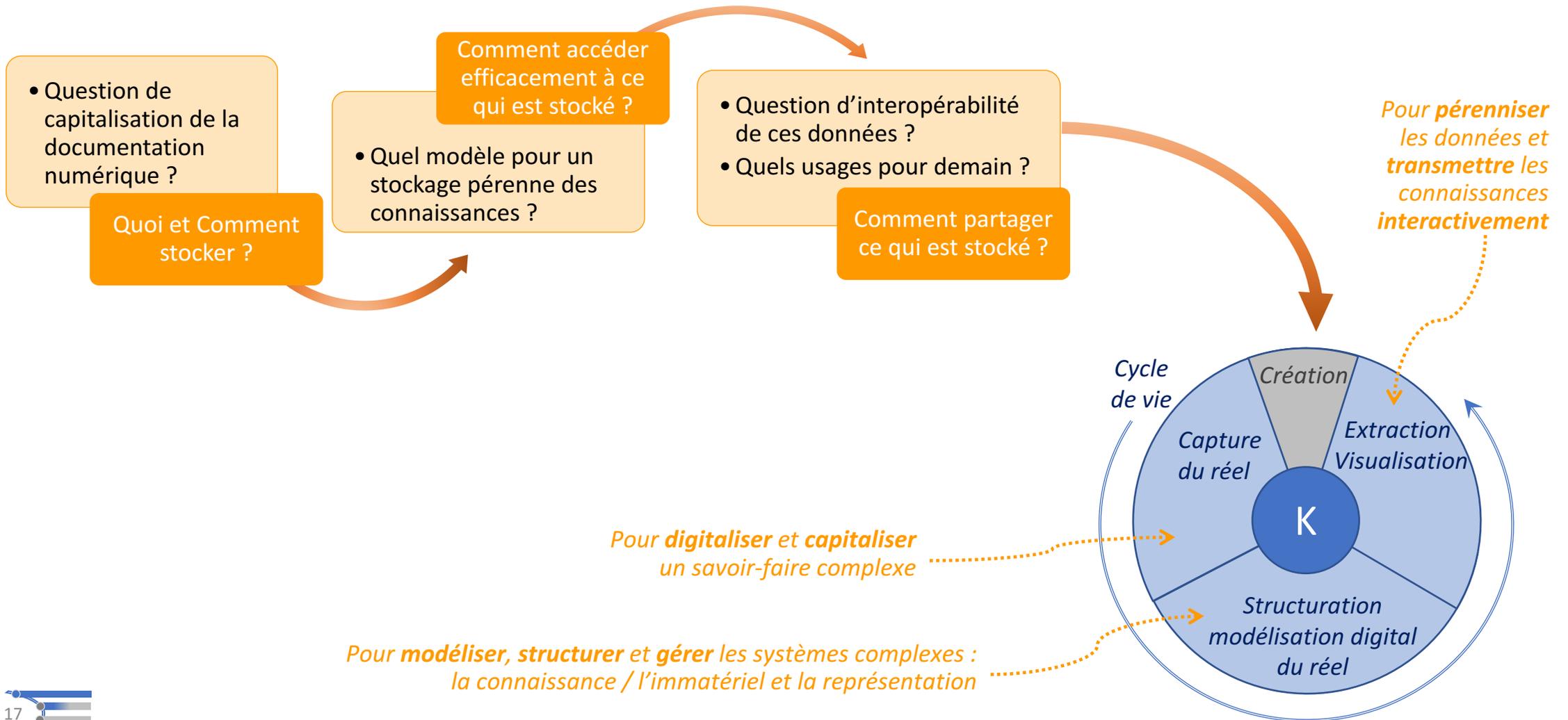
Quand le Génie Industriel aide notre patrimoine industriel [Cotte & al 2002]

- ❑ Renverser l'axe des temps de la conception en utilisant les outils de l'ingénierie virtuelle  
→ processus méthodologique / rigueur technique  
(Outils métiers = CAO, CG, 4D, 5D, numérisation 3D, réalité virtuelle, web, IA...)
- ❑ En permettant une utilisation pérenne des connaissances acquises  
(Supports = Bases de données, ontologies, SIG, BIM...)



# Synthèse des problématiques

- ✓ Champ de recherche → Cycle des connaissances
- ✓ Le cercle vertueux du « KLM for heritage »



# Positionnement disciplinaire Contributions scientifiques

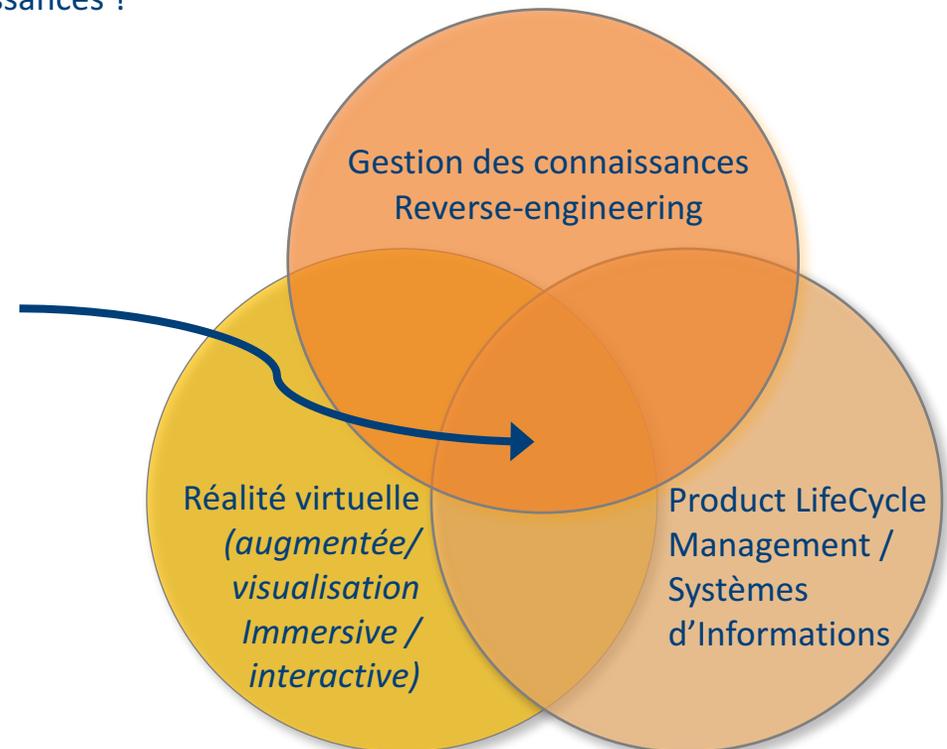
## Apports scientifiques :

- ✓ Quels **modèles** et outils de structuration de la **connaissance multi-échelles** (multi-spatial et temporel) ?
- ✓ Comment intégrer l'**humain** et les **contextes** dans les modèles ?
- ✓ Comment assurer un **couplage** de l'environnement virtuel (**3D**) et des **connaissances** ?
- ✓ Quelle capacité à extraire et analyser **automatiquement** les connaissances ?
- ✓ Comment contribuer à l'évolution des **technologies du virtuel** ?

## Verrous scientifiques :

1. Adéquation des outils aux utilisateurs
2. Opérationnalisation du processus global de patrimonialisation

*Interdisciplinarité de mes  
travaux de recherche*



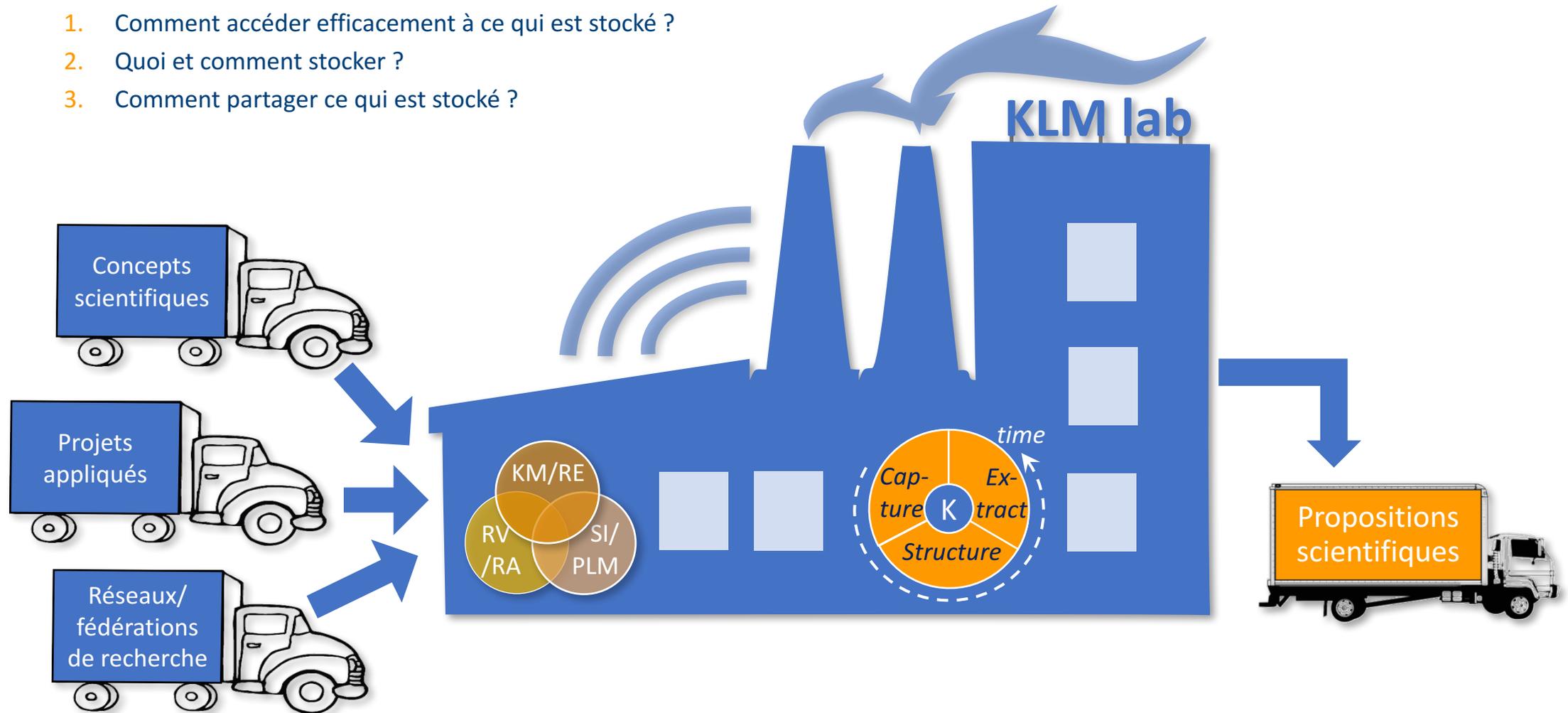
Quel chemin scientifique ?

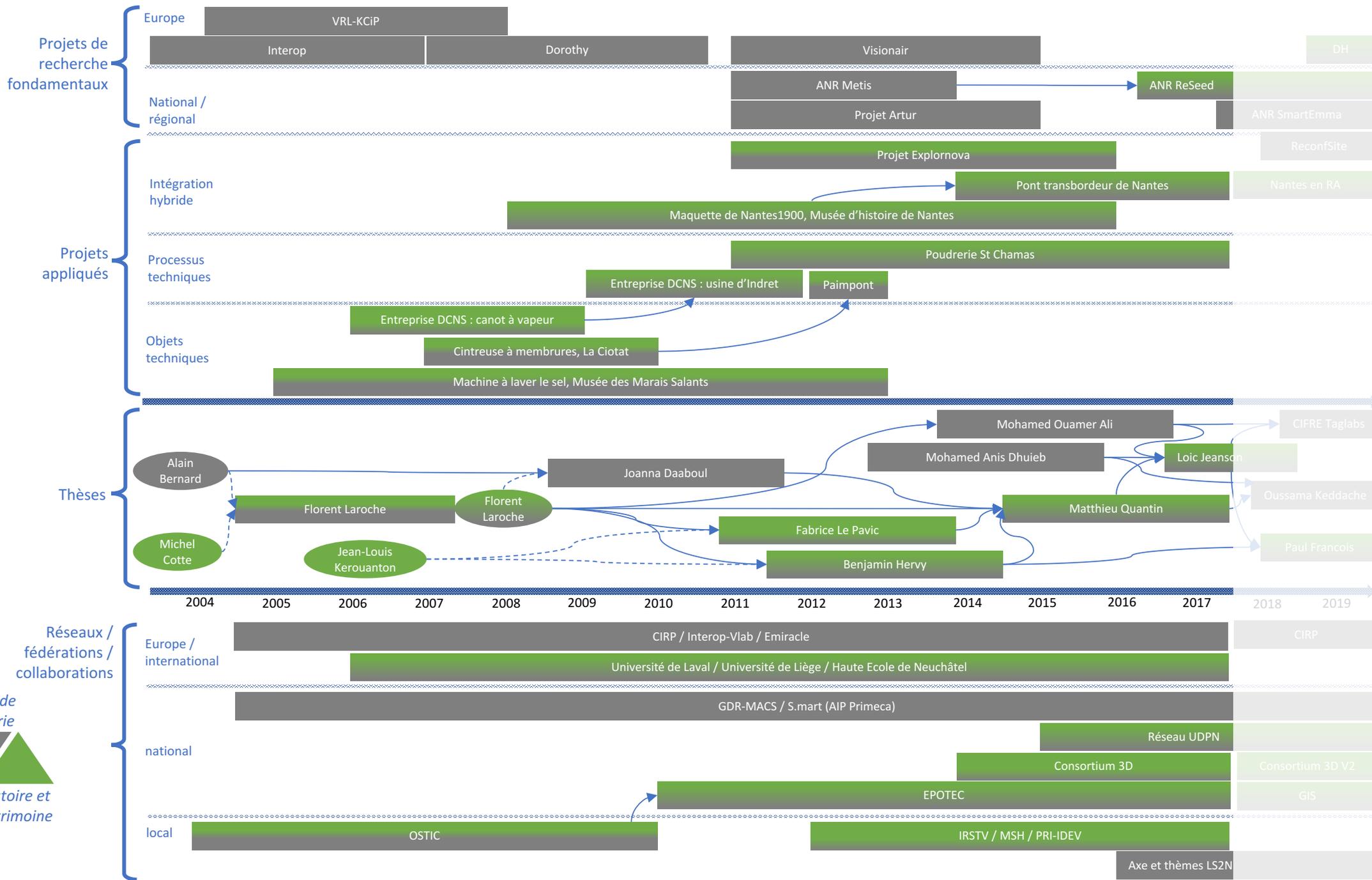


# Ma trajectoire scientifique

« KLM for Heritage » Lab :

1. Comment accéder efficacement à ce qui est stocké ?
2. Quoi et comment stocker ?
3. Comment partager ce qui est stocké ?

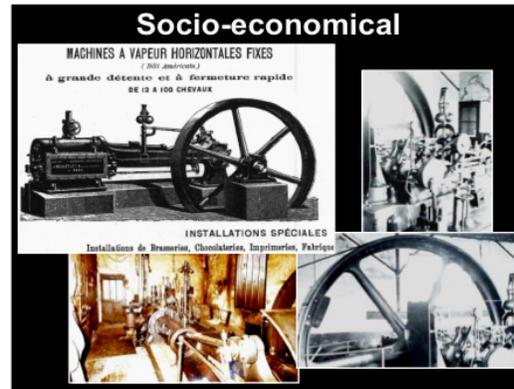
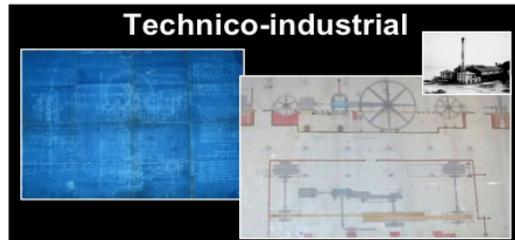




# Proposition méthodologique globale

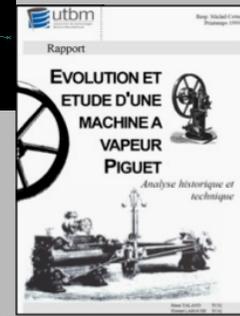
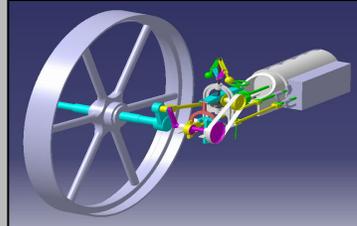
## Knowledge's evolution...

Digitizing  
Knowledge Management



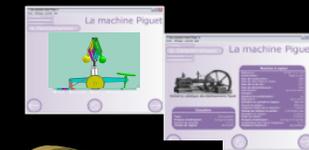
Modeling

*Digital heritage Reference model*  
(object contextualized)

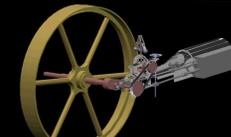


Dynamic used situations  
Virtual Reality

**Standalone use at home**



**Immersive system**



**Standalone use in Museum**

DHRM =  
Digital Heritage  
Reference Model  
[Thèse Laroche 2007]

# Pourquoi digitaliser notre patrimoine ?

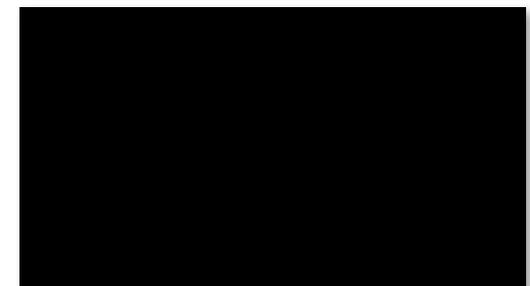
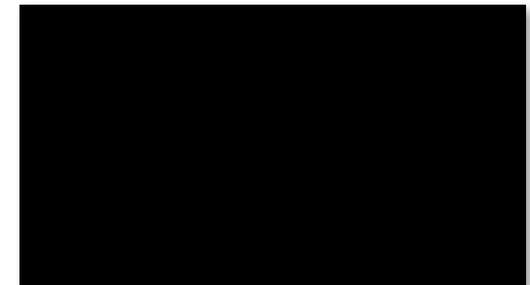
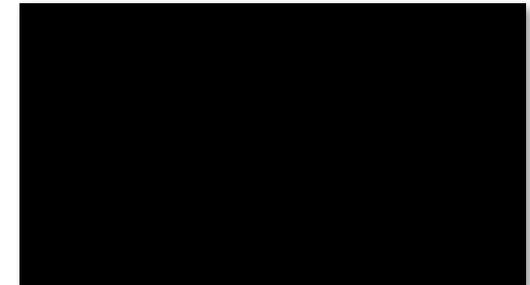
*Entre réalité et virtualité du couple objet/connaissance ?*

## Pourquoi capitaliser notre savoir-faire et le diffuser ? Quelles finalités ?

- ✓ Valorisation **muséographique** pour tout public
- ✓ **Thésaurus** virtuel (digital humanities)
- ✓ **Sauvegarde** en archéologie industrielle
- ✓ **Reconstruction** : maquettes ou taille réelle
- ✓ Tremplin pour l'**innovation**
- ✓ Utilisation **didactique** pour experts ou étudiants

## Vers une déontologie du patrimoine virtuel...

1. La 3D comme approche du patrimoine ? Des termes à prohiber...
  - dire "c'est beau" – admirer de belles couleurs
  - faire une visite virtuelle
  - utiliser le multimédia
2. Les maquettes de patrimoine en 3D...  
...ce ne sont pas de faux artefacts de notre réalité passée.



# Synthèse des propositions scientifiques

1. Nécessité de **déconstruire** puis de **recomposer** les connaissances
2. En identifiant des **champs disciplinaires** et des **référentiels sémantiques**
3. **Opérationnaliser le DHRM** : définir des **modèles et outils** de capitalisation des savoirs du patrimoine technique et industriel

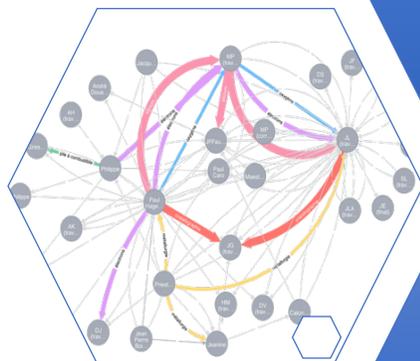


*Archéologie sémantique pour la production de connaissances*

# Challenges scientifiques Pour une réelle transdisciplinarité

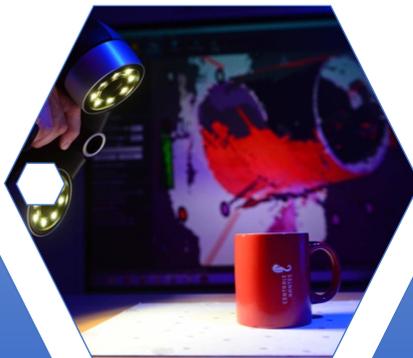
Rappel des verrous scientifiques :

1. Adéquation des outils aux utilisateurs
2. Opérationnalisation du processus global de patrimonialisation



Besoin d'une **méthodologie** outillée robuste et adaptée à chaque objet

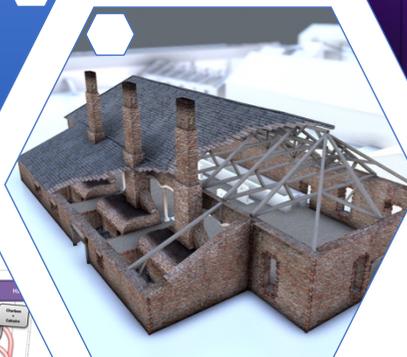
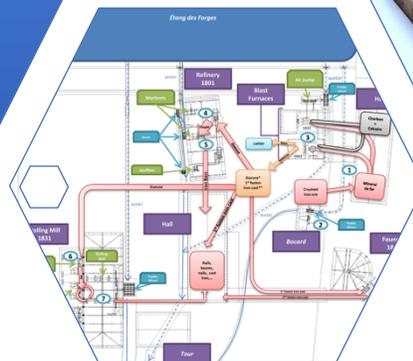
Une capitalisation historique à des fins de **compréhension** scientifique de notre patrimoine



Créer des **études complètes** afin d'établir des modèles à destination des **experts et du grand public**

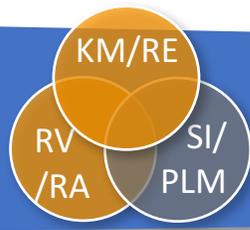
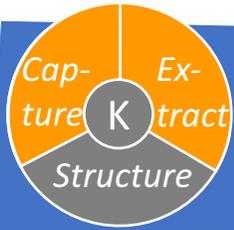
Approche scientifique totalement **interdisciplinaire** à la frontière des SHS et des SPI

Définir de bonnes pratiques d'usage de la 3D sur le **cycle de vie patrimonial**





Contributions majeures



# Valider le principe d'Archéologie Industrielle par le numérique



## Objectifs :

- ✓ Sauvegarder un objet artisanal
- ✓ Valider un processus de rétro-conception à multi-niveaux
- ✓ Permettre de reconstruire l'objet à échelle 1:1 fonctionnel en vue de sa réimplantation dans un musée rénové

## Moyens → Machine à laver le sel de Batz-sur-Mer

- ✓ Projet de recherche sur 9 ans dont thèse [Laroche 2007]
- ✓ Assistance à maîtrise d'ouvrage pendant la construction du nouveau musée
- ✓ 25 publications (revues ou conférences avec actes)

## Contributions majeures :

- ✓ Validation de la chaîne numérique pour le patrimoine
- ✓ Application muséographique in-situ

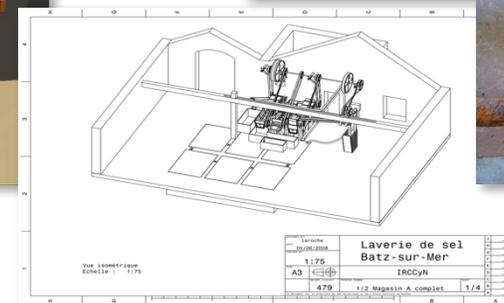


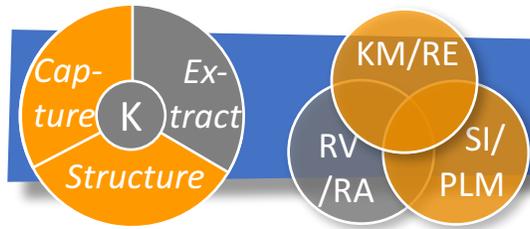
# Machine à laver le sel



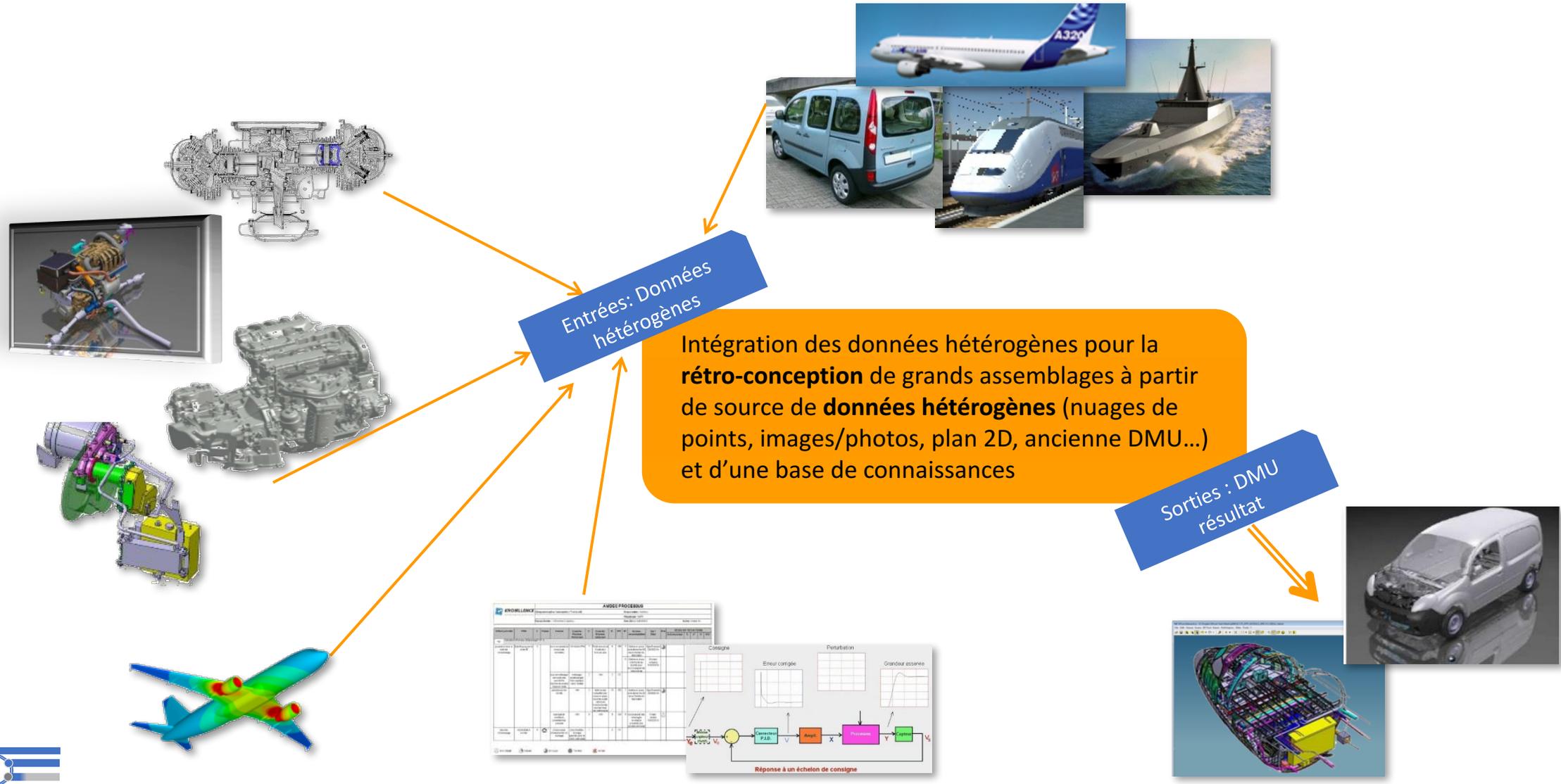
## Chaine numérique patrimoniale

1. Numérisation 3D globale + de détails
2. Capitalisation des connaissances historiques
3. Reconception mécanique en CAO
4. Démontage et reconstruction
5. Implantation in-situ in-vivo

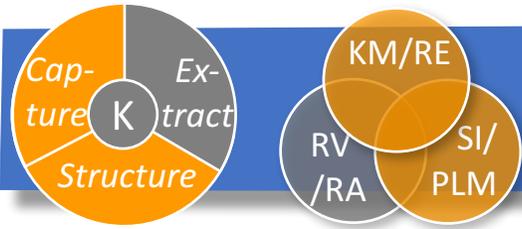




# Projet ANR Metis



# Reverse-engineering de systèmes complexes



## Problématique :

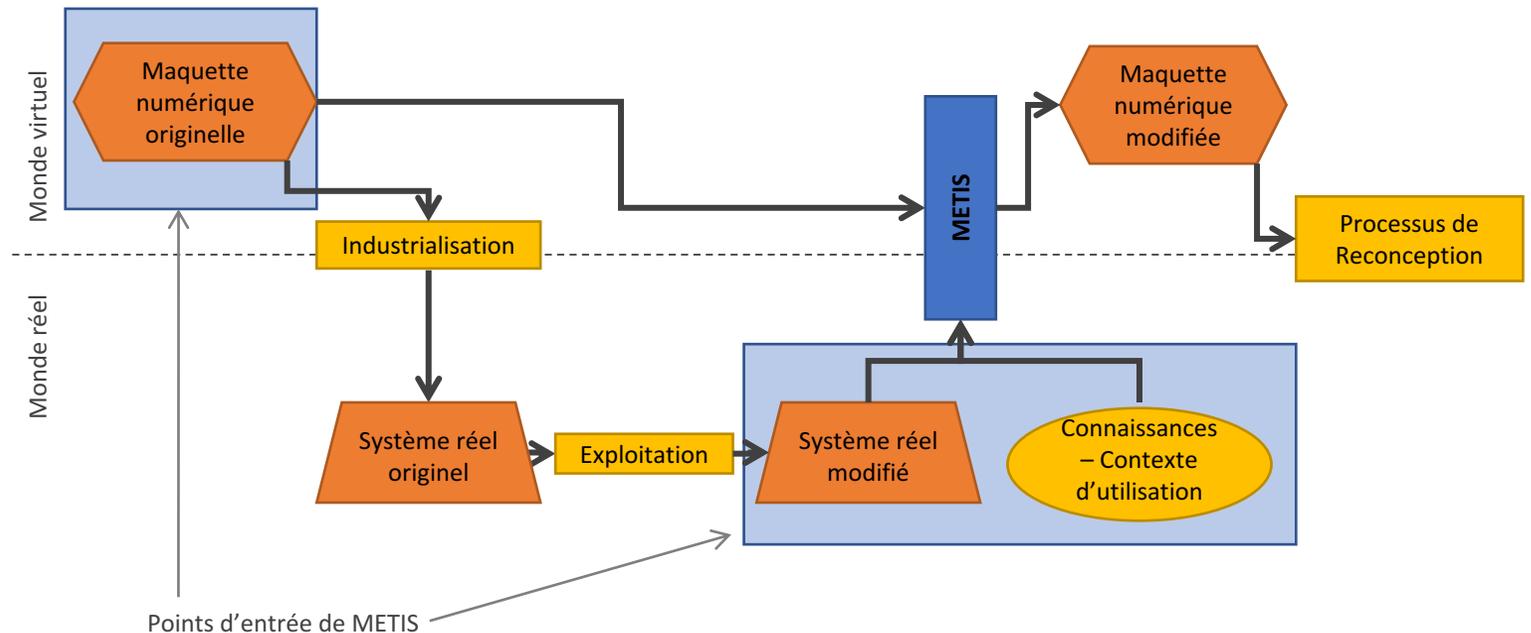
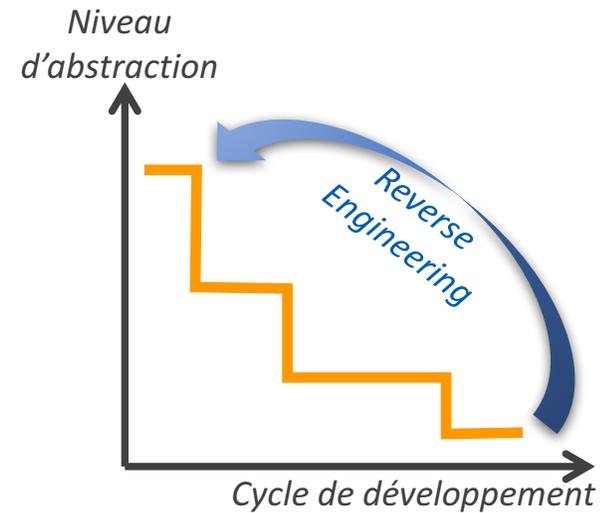
- ✓ Comment retrouver l'intention de conception d'un objet ?

## Moyens → Projet ANR METIS

- ✓ ModElisation Tridimensionnelle de maquettes numériques par l'Intégration de données géométriques et de connaissances hétérogènes
- ✓ Projet ANR sur 3 ans avec 6 partenaires dont 2 industriels
- ✓ Une thèse [Thèse Ouamer Ali 2016]
- ✓ 7 publications (revues ou conférences avec actes)

## Contributions majeures :

- ✓ Proposition d'une **démarche de reconception** dite en escalier
- ✓ **Méthodologie Ki4D** = Knowledge integration en 4D pour reconstruire le processus de rétro-conception de façon modulaire

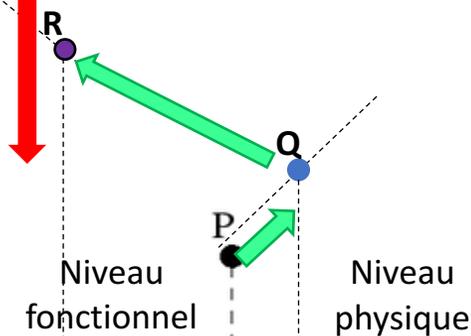


# Processus Ki4D



Cycle de développement

Spécifications techniques

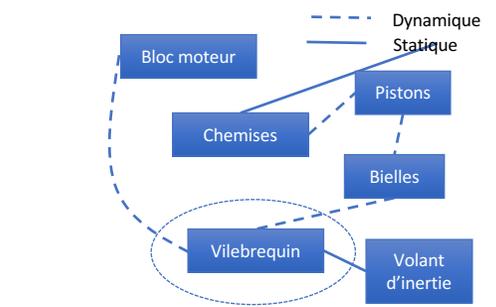


Niveau fonctionnel

Niveau physique

Niveaux d'abstraction de la connaissance

Linguistique  
Algorithmique  
Pictural



Maximum → Niveau de connaissance bas, modèle systémique

Minimum → Niveau de connaissance élevé, objet physique concret



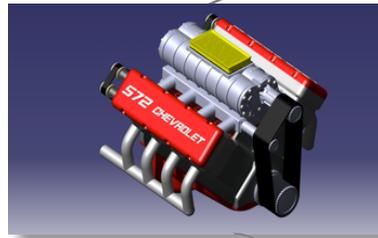
Représentation

Pictorial	Symbolic	Linguistic	Virtual	Algorithmic
Sketches	Decision tables	Customer Requirements	CAD Models	Mathematical Equations
Detailed drawings	Production rules	Design Rules, constraints	CAE Simulations	Parametrizations
Charts	Flow charts	Analogies	Virtual Reality simulations	Constraint Solvers
Photographs	FMEA diagram	Customer feedback	Virtual prototypes	Computer Algorithms
CAD model views	Assembly tree	Verbal communication	Animations	Design/ operational procedures
	Fishbone diagrams		Multimedia	
	Ontologies			

[Chandrasegaran & al 2012]

# Ki4D : axe systématique

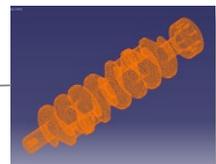
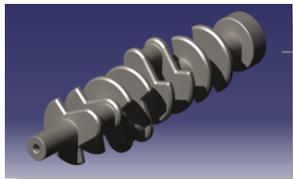
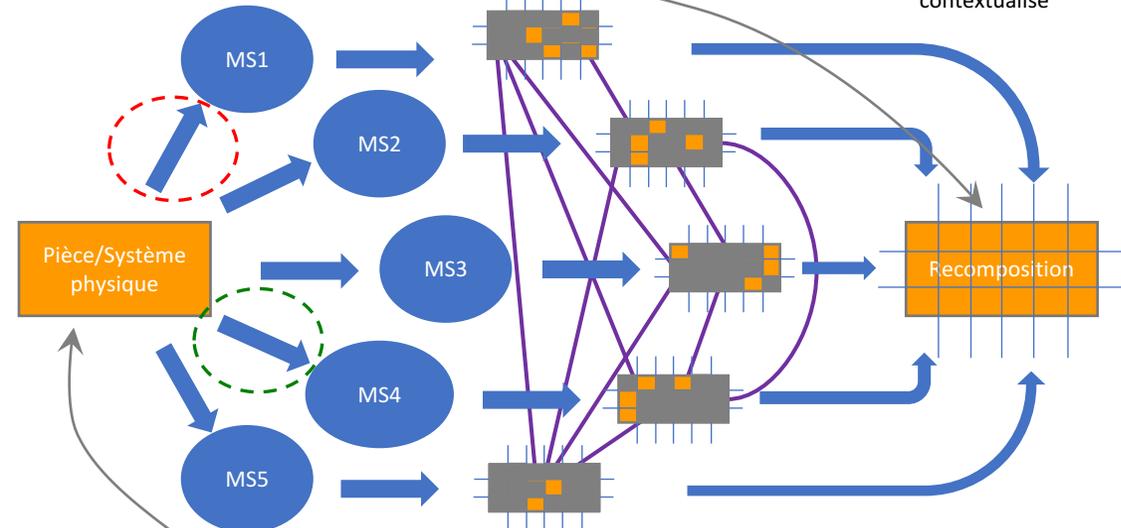
[Thèse Ouamer Ali 2016]



Mode de  
représentation



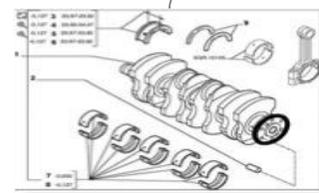
Pièce/Système  
physique



Cycle  
de vie



Niveau  
d'abstraction



A

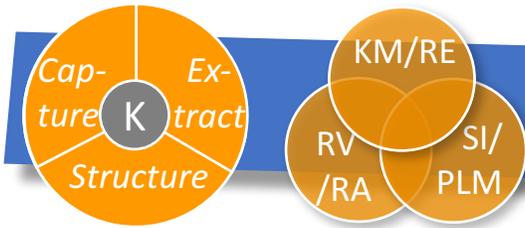
D

# Projet Nantes1900

Musée d'histoire de la ville de Nantes,  
Château des Ducs de Bretagne (44)

- Maquette réalisée par Pierre-Auguste Duchêne pour l'Exposition Universelle de 1900
- Utilisée par la Chambre de Commerce jusqu'en 1921, puis donnée au musée
- Objet d'une grande précision témoin de l'activité du port de Nantes à son apogée
- 9,20 x 1,85m





# Vers un PLM muséologique



[Guillet, Courtin, Laroche, Kerouanton 2015]

## Objectifs :

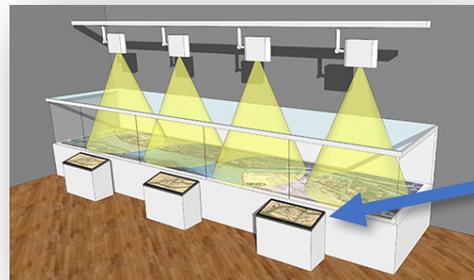
- ✓ Donner au visiteur des clefs de **compréhension de l'objet**
- ✓ Donner **accès aux documents** relatifs au territoire couvert par la maquette
- ✓ Favoriser la **recherche historique**

## Moyens → Projet "Nantes1900"

- ✓ Projet de recherche interdisciplinaire collaboratif sur 8 ans
- ✓ 90 étudiants, enseignants et industriels de compétences multiples
- ✓ Thèse CIFRE avec le VAN [Thèse Hervy 2014]
- ✓ 28 publications (revues ou conférences avec actes)

## Contributions majeures :

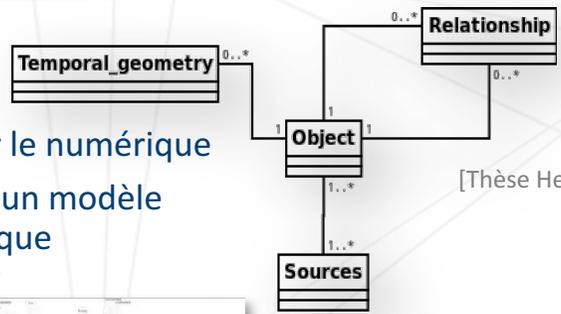
- ✓ **Lien objet réel/virtuel**
- ✓ **Application muséographique in-situ (TRL 9)**



# Capture des connaissances sémantiques

## Contributions :

- ✓ Changement des pratiques historiques par le numérique
- ✓ Définition d'un PLM muséographique et d'un modèle d'encapsulation de la connaissance historique



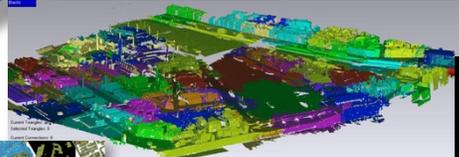
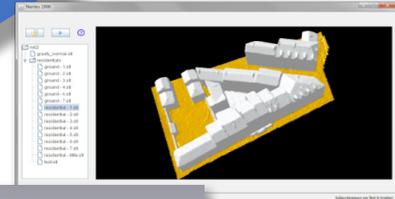
[Thèse Hervy 2014]



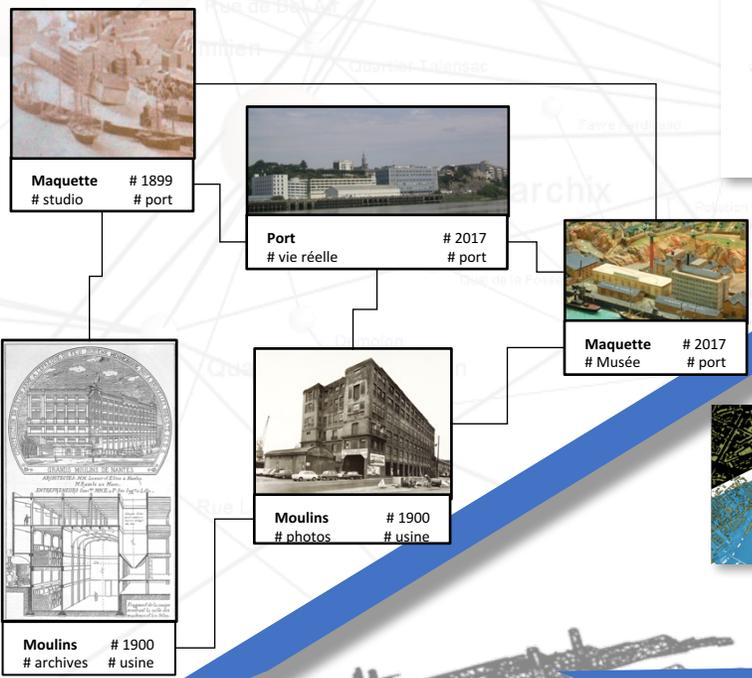
## Contributions :

- ✓ Numérisation 3D de patrimoine à grande échelle (120 millions points)
- ✓ Problématiques de reverse-engineering automatique
- ✓ Lien objet réel/virtuel
- ✓ Utilisation de la 3D dans un dispositif muséographique in-situ

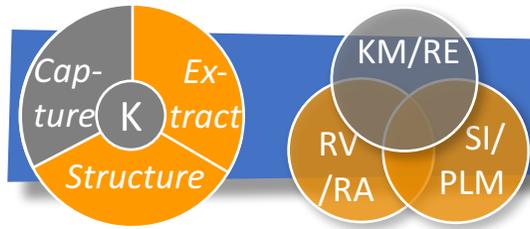
[Master Lefevre 2011]



[Master Serveille 2009]



# Capture des connaissances physiques



# Prototypes "Nantes1900"



## Navigation immersive en 3D

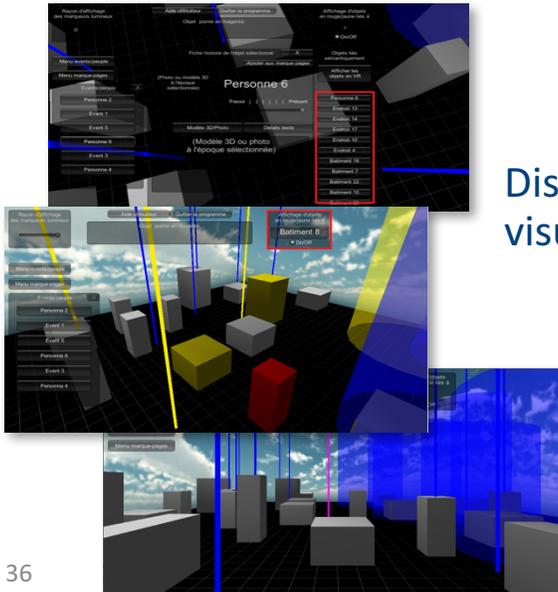
[Master Monier 2012]  
[Master Rouquet 2014]



## Prototype de SIC-SIG

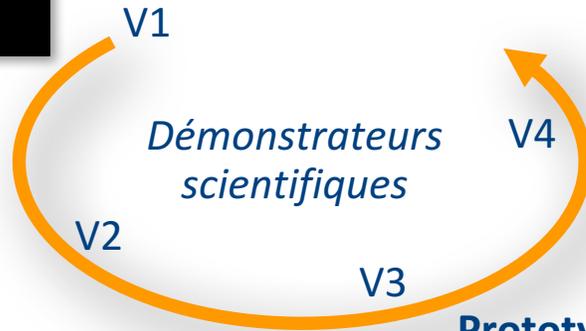
[Master Langeois 2016]  
[Master Arragon 2016]

[Master Lam 2014]



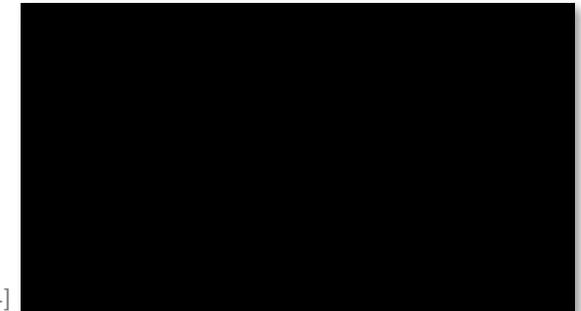
## Dispositif interactif pour la visualisation de connaissances

- ✓ Capitaliser les connaissances
- ✓ Contextualiser les informations
- ✓ Piloter la visualisation de données par les connaissances
- ✓ Visualiser et manipuler les données en immersion
- ✓ Nouvelle forme d'historiographie

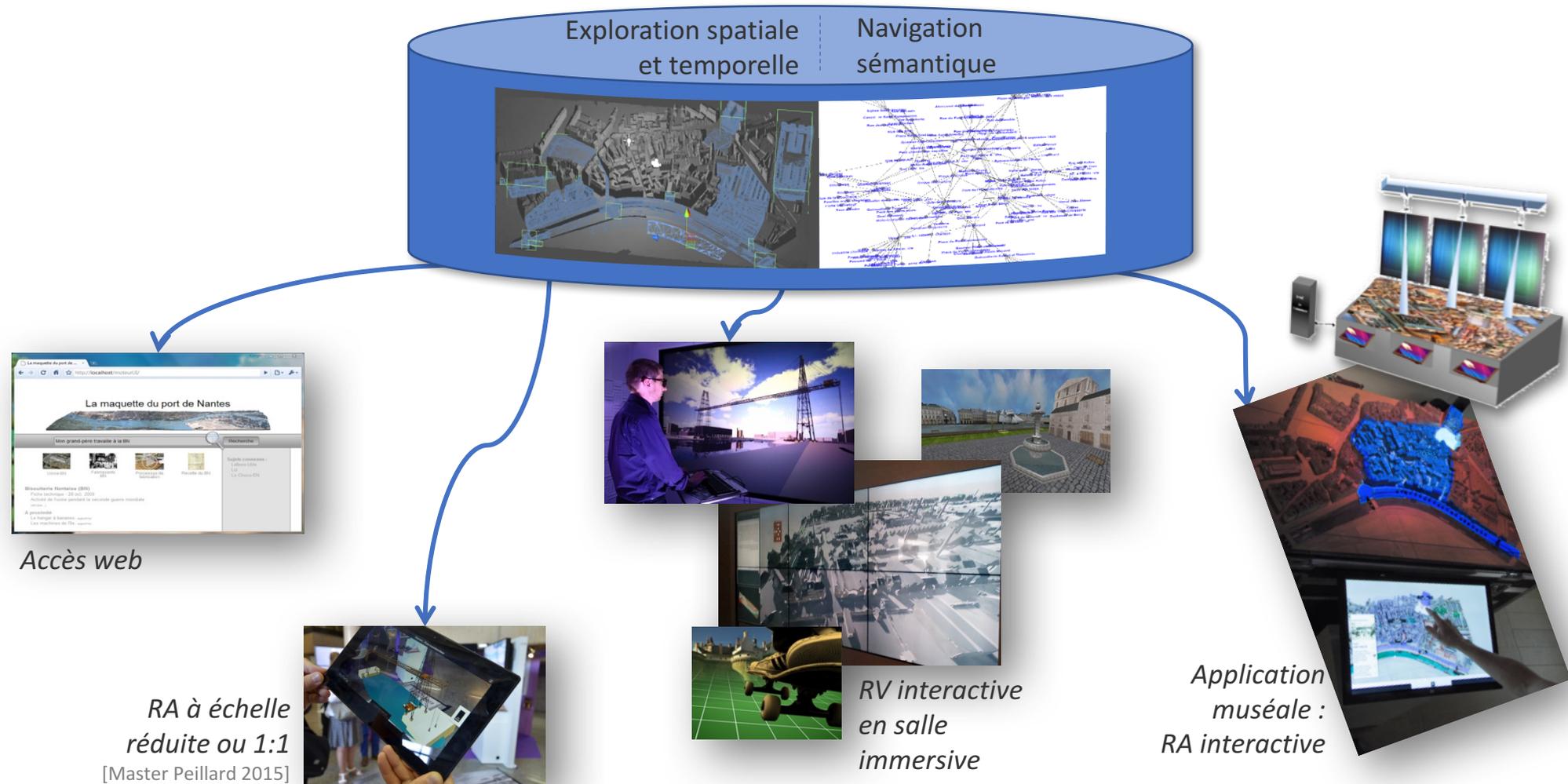


## Prototype mobile « Système de gestion de connaissances historiques »

- ✓ Analyse et construction du récit historique
- ✓ Conservation
- ✓ Muséographie



# Créer de l'interaction entre le modèle réel et le modèle virtuel



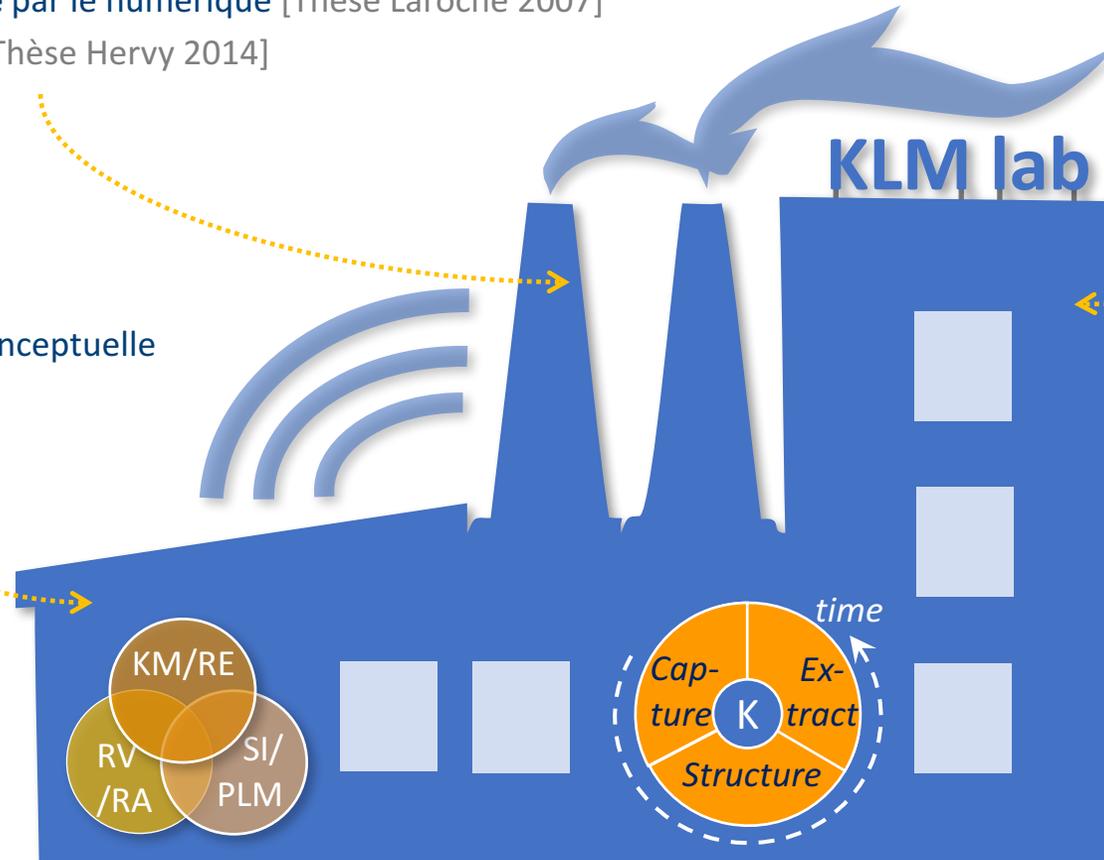
# Synthèse des propositions scientifiques

- ✓ Proposition d'un **PLM muséologique** [Thèse Hervy 2014]
- ✓ Nécessité d'un **couplage** des connaissances avec un modèle 3D numérisé intelligible [Laroche 2016]

Validation des principes...

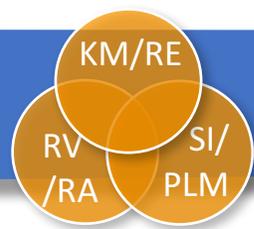
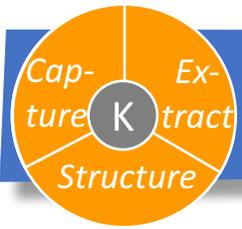
- ✓ d'**Archéologie Industrielle** par le numérique [Thèse Laroche 2007]
- ✓ de **muséologie virtuelle** [Thèse Hervy 2014]

Proposition d'une méthodologie conceptuelle de **reverse-engineering Ki4D** [Thèse Ouamer Ali 2016]

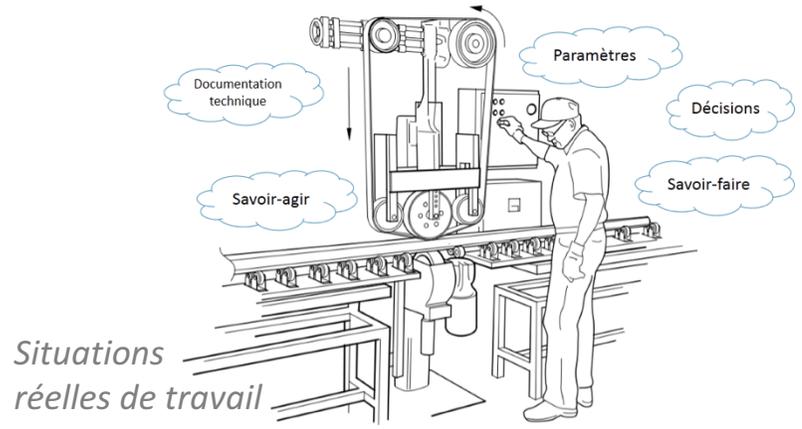


Quelle est ma place dans ce nouveau contexte ?





# Intégrer le contexte dans les modèles de connaissances Vers le KLM ?



Situations réelles de travail

## Problématiques :

- ✓ Si la connaissance dépend de son **contexte d'usage** (capitalisation, modélisation ou restitution), quel outil et méthode de KLM ? [Laroche 2008]
- ✓ **Place de l'humain et IHM ?**

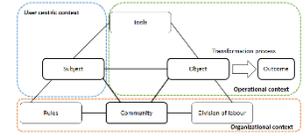
## Moyens → Projet ARTUR

- ✓ AtelierR du fuTUR
- ✓ Projet Région sur 4 ans avec 6 partenaires dont 1 industriel
- ✓ Une thèse [Thèse Dhuieb 2016]
- ✓ 13 publications (revues ou conférences avec actes)

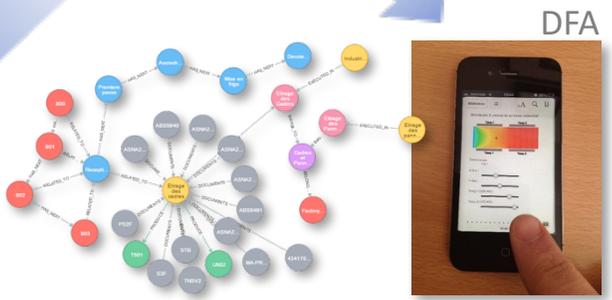
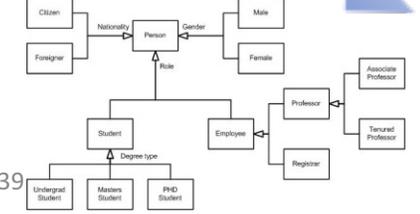
## Contributions majeures :

1. **Outil numérique ubiquitaire** → « Digital Factory Assistant »
2. Nouvelle façon de **modéliser** et de **structurer** la connaissance
3. Intégration du **contexte**

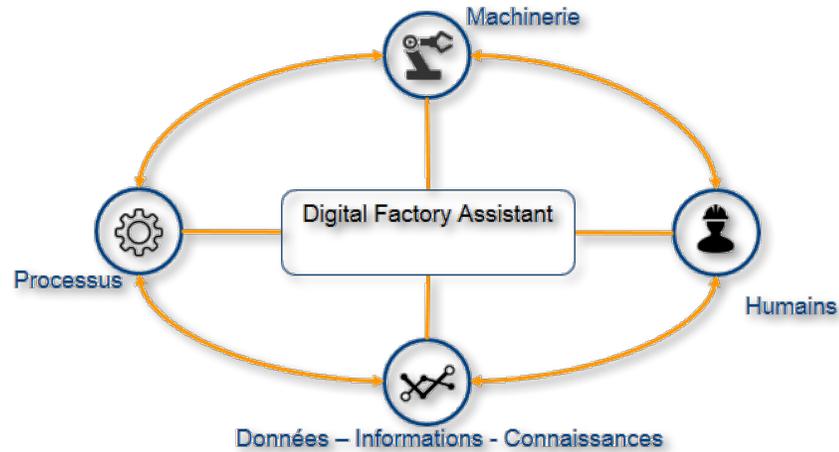
### Théorie de l'activité



### Modèle de contexte



# Le projet ARTUR



## Objectif :

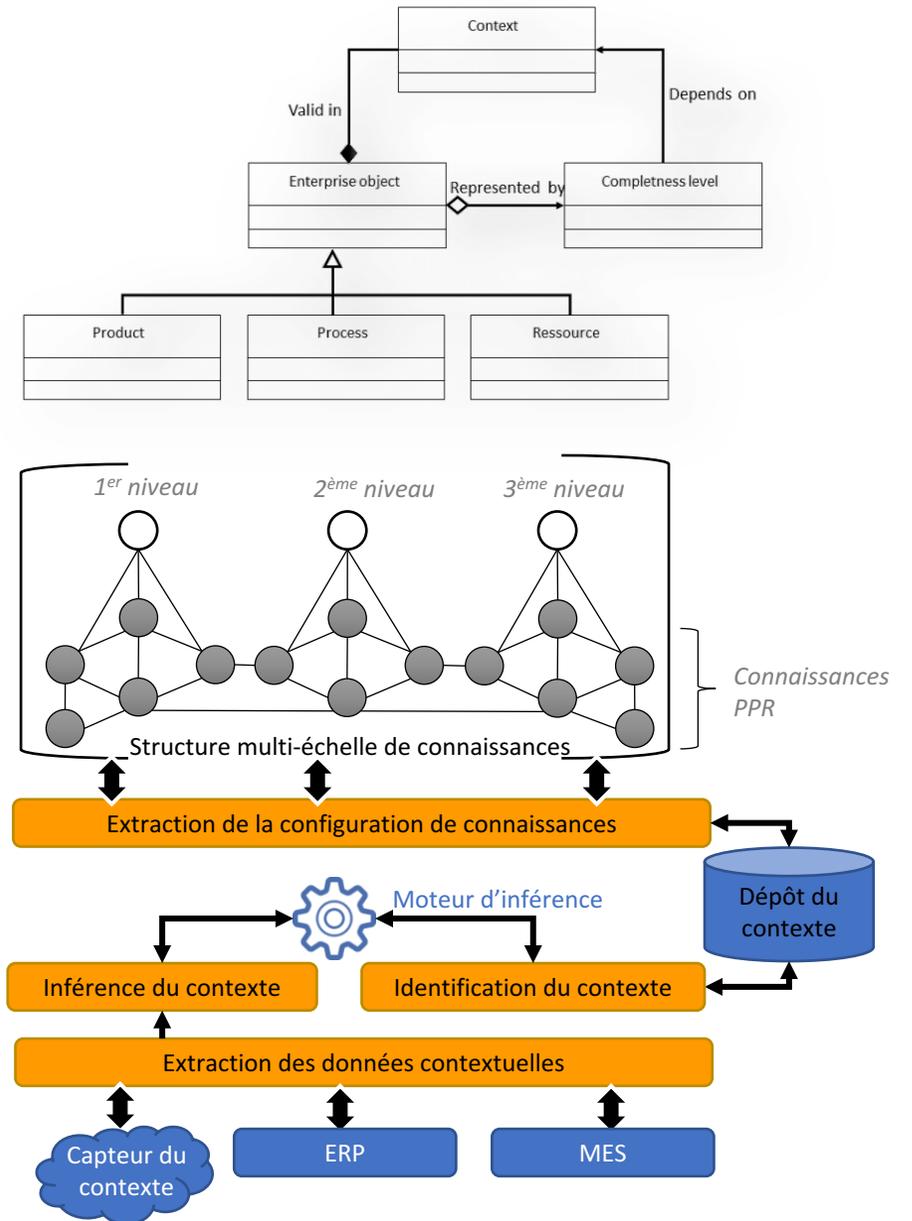
Extraire la bonne connaissance requise et la fournir à la bonne personne, au bon moment et au bon endroit.

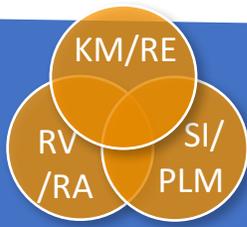
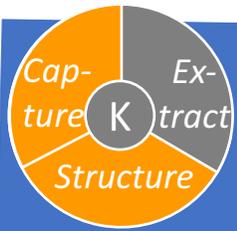
## Résultats scientifiques :

1. Un méta-modèle pour **structurer la connaissance** et le contexte à multi-échelles
2. Un **mécanisme** de reconstruction de la connaissance

## Résultat industriel :

Le Digital Factory Assistant est un système de support et d'aide à la décision destiné aux opérateurs en lignes de production [Laroche & al 2012]





# Vers un double numérique porteur de sens

## Objectifs :

- ✓ Avoir un **outil pour permettre le dialogue** entre experts du patrimoine et les objets « numériques »

## Verrou scientifique :

- ✓ Décloisonner par une **interopérabilité du processus** "capitalisation-modélisation-valorisation"

## Moyens → Projet ANR ReSeed

- ✓ Projet ANR sur 4 ans ; 8 partenaires dont 2 industriels et 2 institutions
- ✓ *Rétro-conception Sémantique d'objets patrimoniaux Digitaux*
- ✓ Une thèse [Thèse Jeanson 2019]
- ✓ 1 publication internationale avec actes

*Comment ouvrir et faire bouger ce fichier 3D et obtenir plus d'informations juste sur la cathédrale ?*



*Expert du patrimoine*



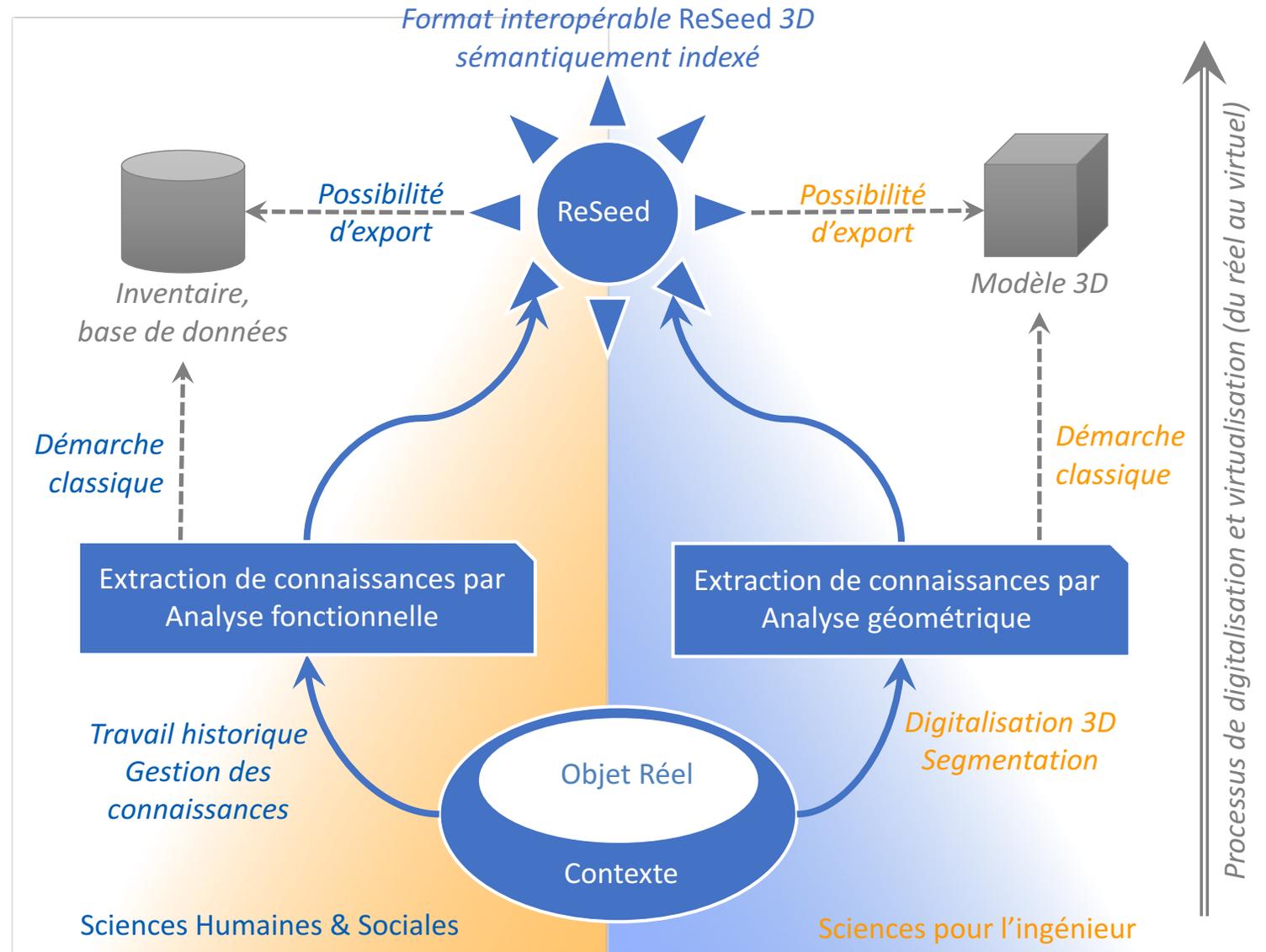
# Projet ANR ReSeed

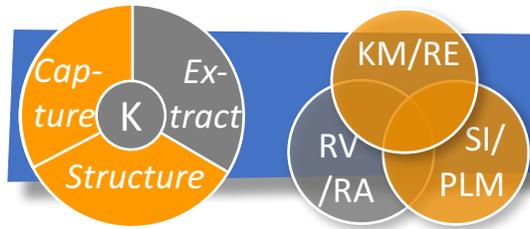
## Proposition scientifique :

1. Vers un environnement hybride
2. En reverse-engineering contextualisé

## Résultats attendus de ReSeed :

- ✓ **Modèle structuré**
- ✓ **Outil interopérable**
- ✓ **Nouveau format** incluant la "valeur patrimoniale"





# Extraction automatique de connaissances

## Problématiques :

- ✓ Les données numérisées :
  - Très nombreuses
  - Hétérogènes (quantité et qualité)
  - Non-structurées avec des vocabulaires métiers
- ✓ La phase de capture et d'indexation est donc longue.

## Objectifs :

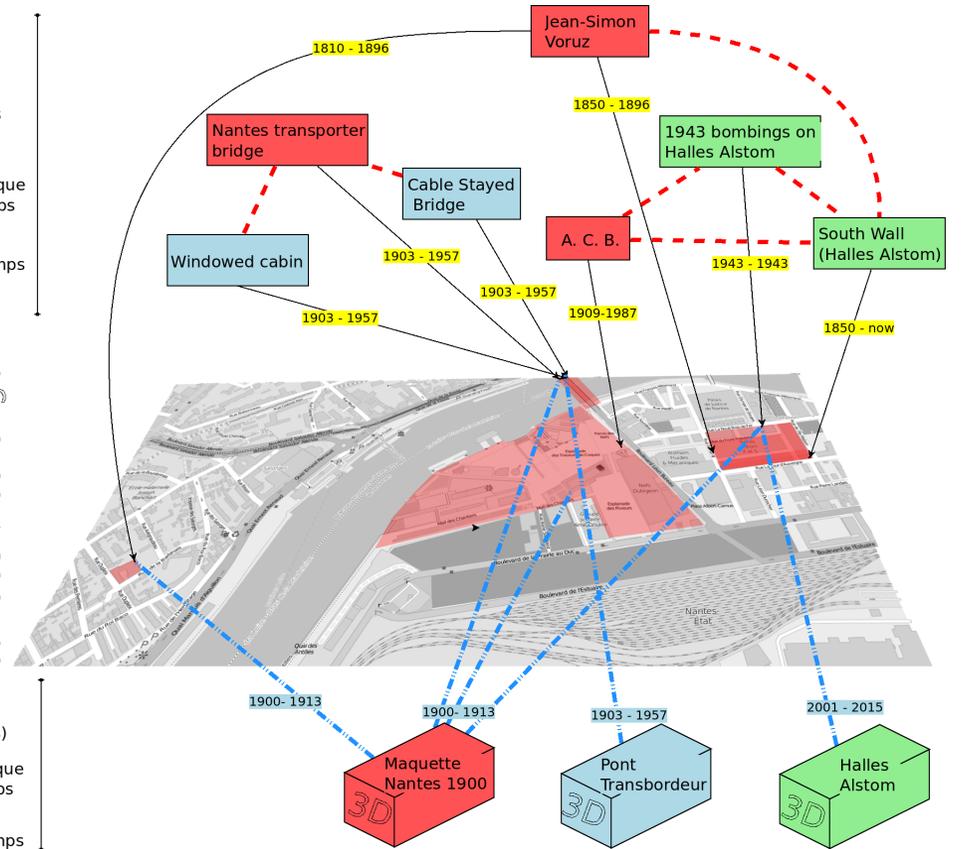
- ✓ **Structurer automatiquement** les relations entre les données capitalisées
- ✓ Extraire automatiquement des bribes de connaissances – **mots clefs intelligents**
- ✓ **Aider l'utilisateur** dans cette nébuleuse de connaissances

## Moyens :

- ✓ Travail sur plusieurs corpus historiques ("Nantes1900", Halles Alstom, salons Mauduits...)
- ✓ Une **thèse allocation ministérielle** [Thèse Quantin 2018]
- ✓ 6 publications (revues ou conférences avec actes)

Réseau 1:  
7 fiches contenant texte et sources  
- - - Relation sémantique  
→ Placement géographique contraint dans le temps  
1903 - 1957 Intervalle temporel contraint dans le temps

surface d'échange



Réseau 2:  
3 géométries (maquettes virtuelles)  
- - - Placement géographique contraint dans le temps  
1900-1913 Intervalle temporel contraint dans le temps

[Quantin & al 2015]

# Haruspex : un outil de gestion de connaissances non-structurées

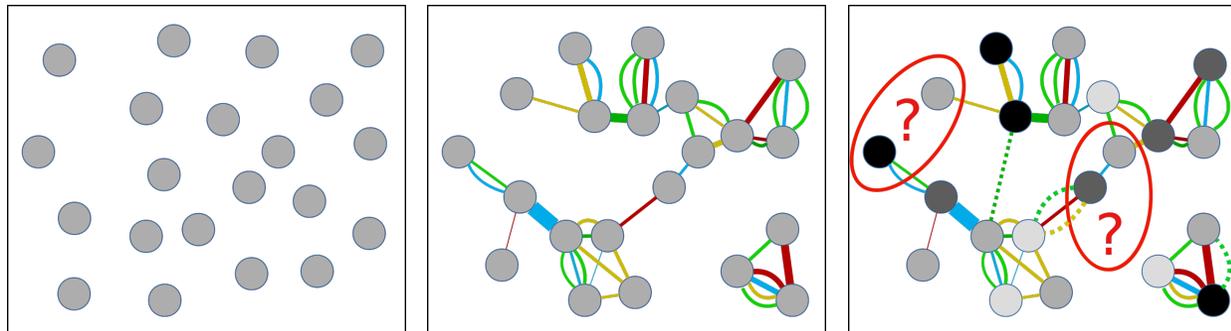
## Objectifs de Haruspex :

- ✓ Capturer et structurer des informations depuis des textes
- ✓ Outil d'analyse supervisée de données non structurées pour le chaînage de connaissances

## Méthode en 4 étapes :

1. Gestion de corpus
2. Extraction de mot-clef à partir du texte
3. Supervision par l'utilisateur
4. Création de "liens sémantiques" entre documents

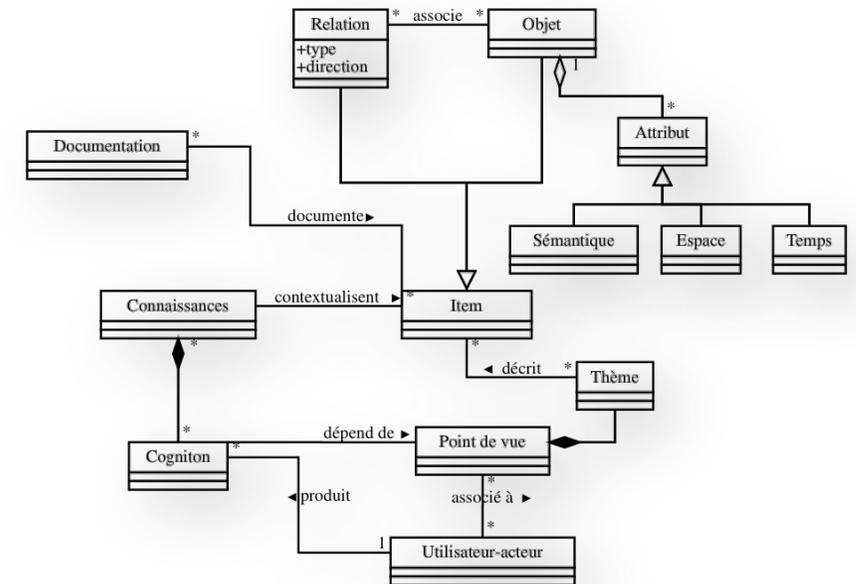
[Dépôt brevet logiciel 2018]



(a) Corpus de textes homogène, découpés en unités lexicales

(b) Réseau pondéré de textes, liens de thématique(s) commune(s) (proximité)

(c) Analyse du graphe : analyses visuelles et quantitatives : identification de chaînons singuliers

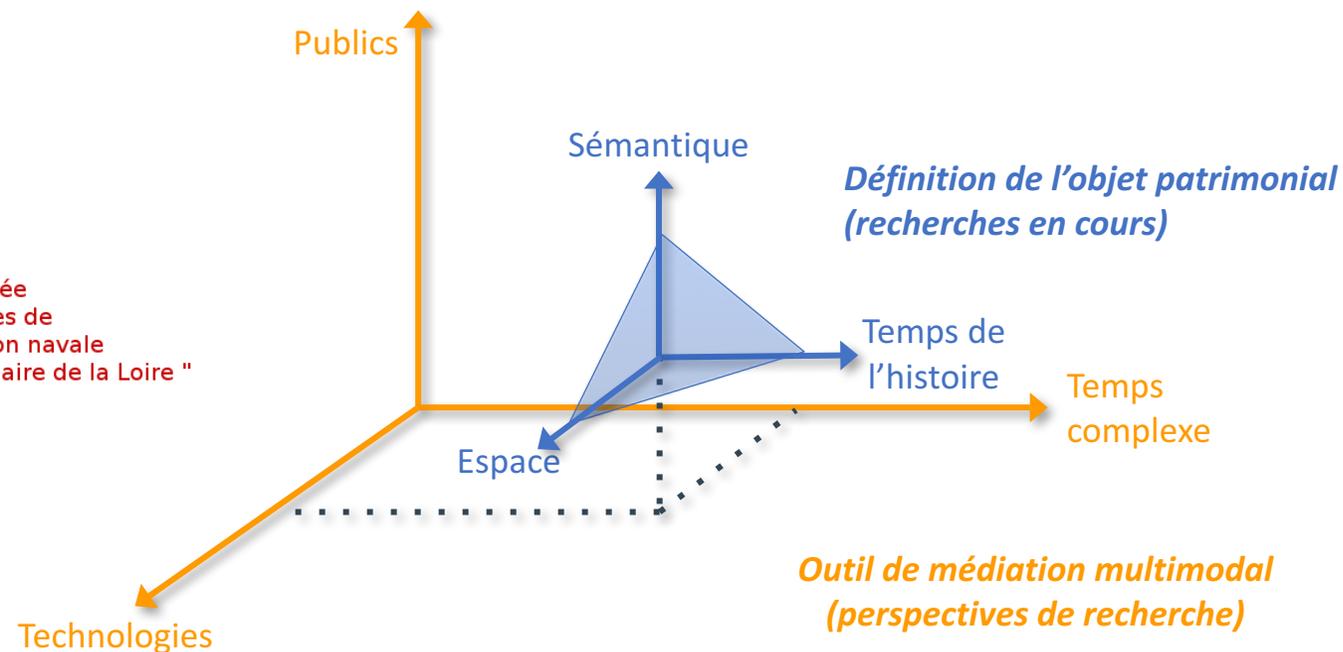
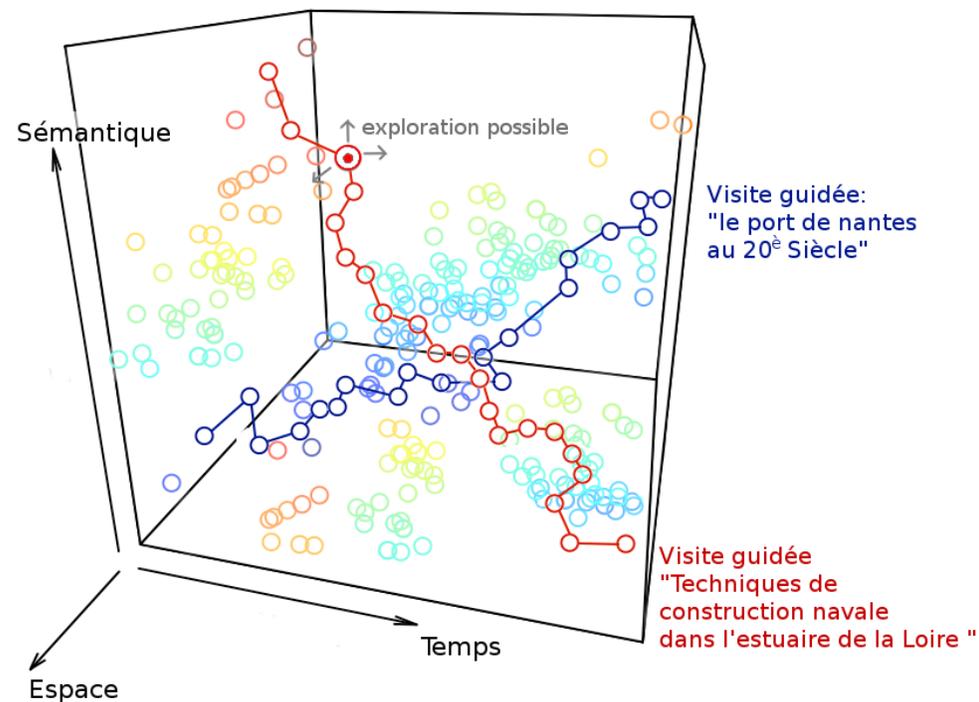


[Post-doc Hervy 2015]

# Parcours de connaissances : Un meta-modèle multi-échelles à 6 dimensions

Futurs travaux

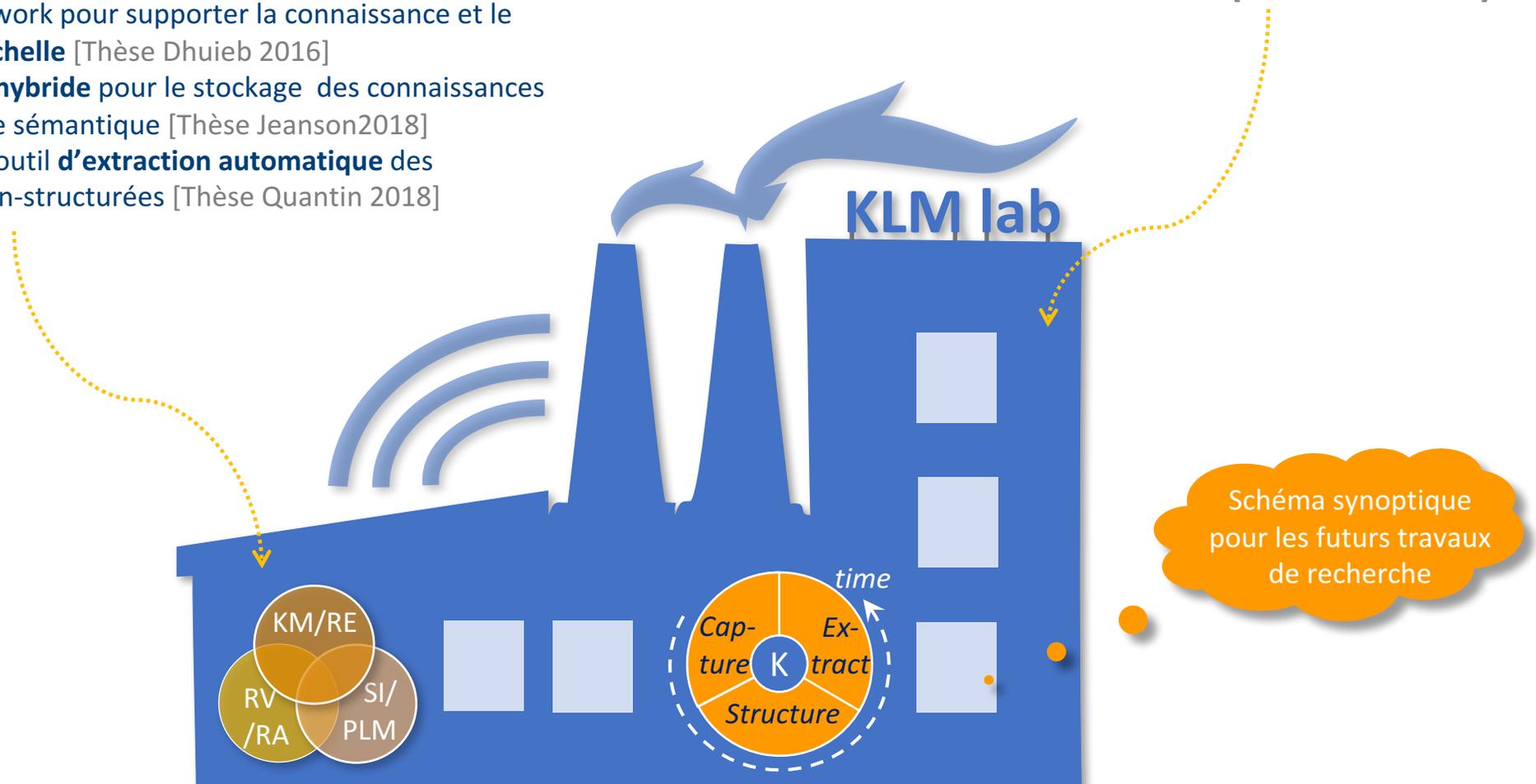
[Laroche & Kerouanton 2016]



# Synthèse des propositions scientifiques

- ✓ Modèle et framework pour supporter la connaissance et le **contexte multi-échelle** [Thèse Dhuieb 2016]
- ✓ Nouveau **format hybride** pour le stockage des connaissances tant physique que sémantique [Thèse Jeanson 2018]
- ✓ Proposition d'un outil **d'extraction automatique** des connaissances non-structurées [Thèse Quantin 2018]

Lien réel-virtuel par un « **assistant virtuel** » pour contribuer à l'omniprésence de l'informatique [Thèse Dhuieb 2016]





Travaux de recherche en cours et futurs



INGRESOS  
Y  
EGRESOS  
ENERO - DICIEMBRE - MAYO  
NOVIEMBRE  
IXTEPEC  
1944  
1954

INGRESOS  
= IXTEPEC =  
ENERO - DICIEMBRE - MAYO  
NOVIEMBRE



# Travaux en cours

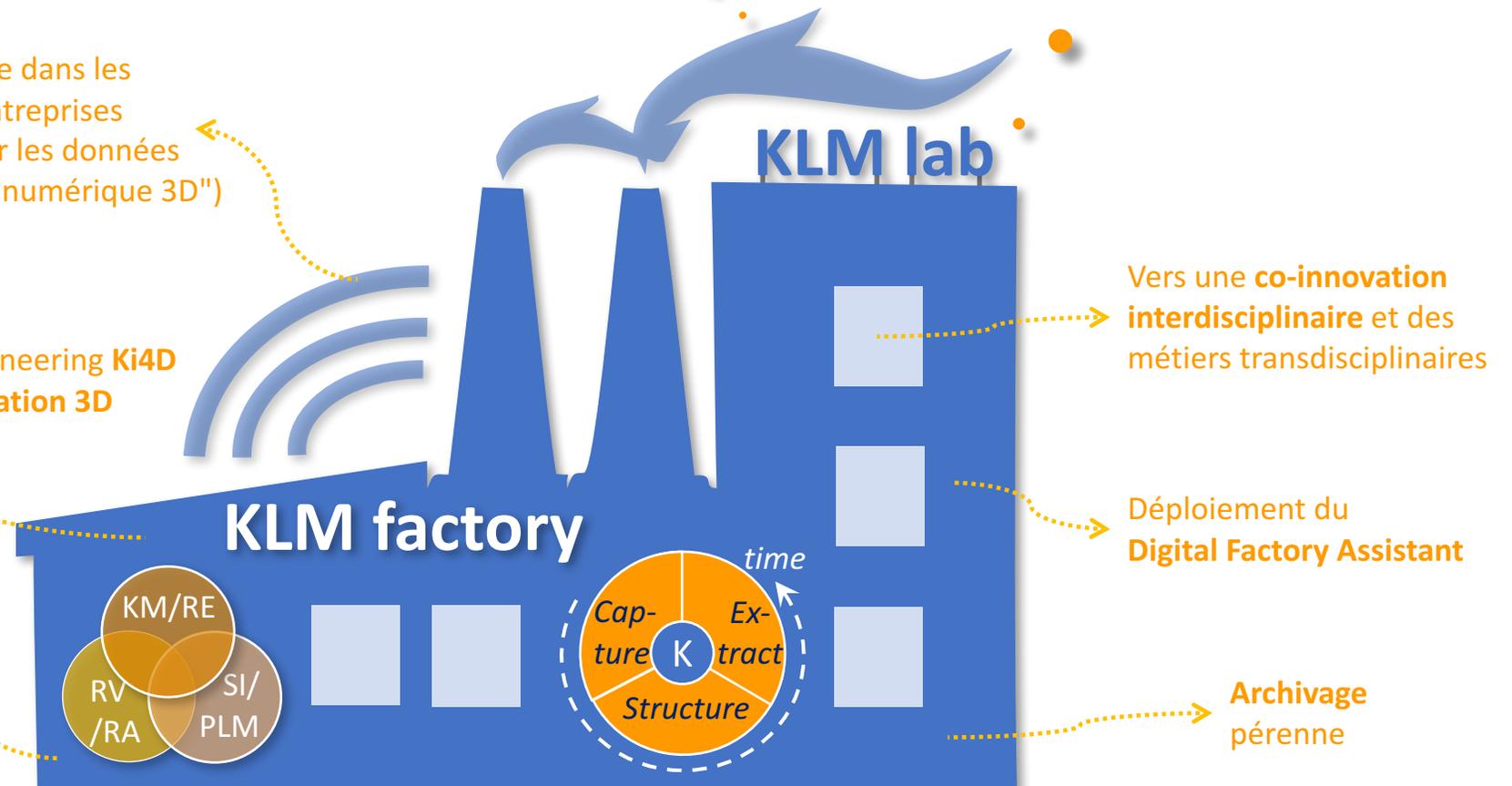
- ✓ Intégrer l'ADN du patrimoine dans les  **doubles numériques**  des entreprises
- ✓ Création d'un  **standard**  pour les données hybrides (label "patrimoine numérique 3D")

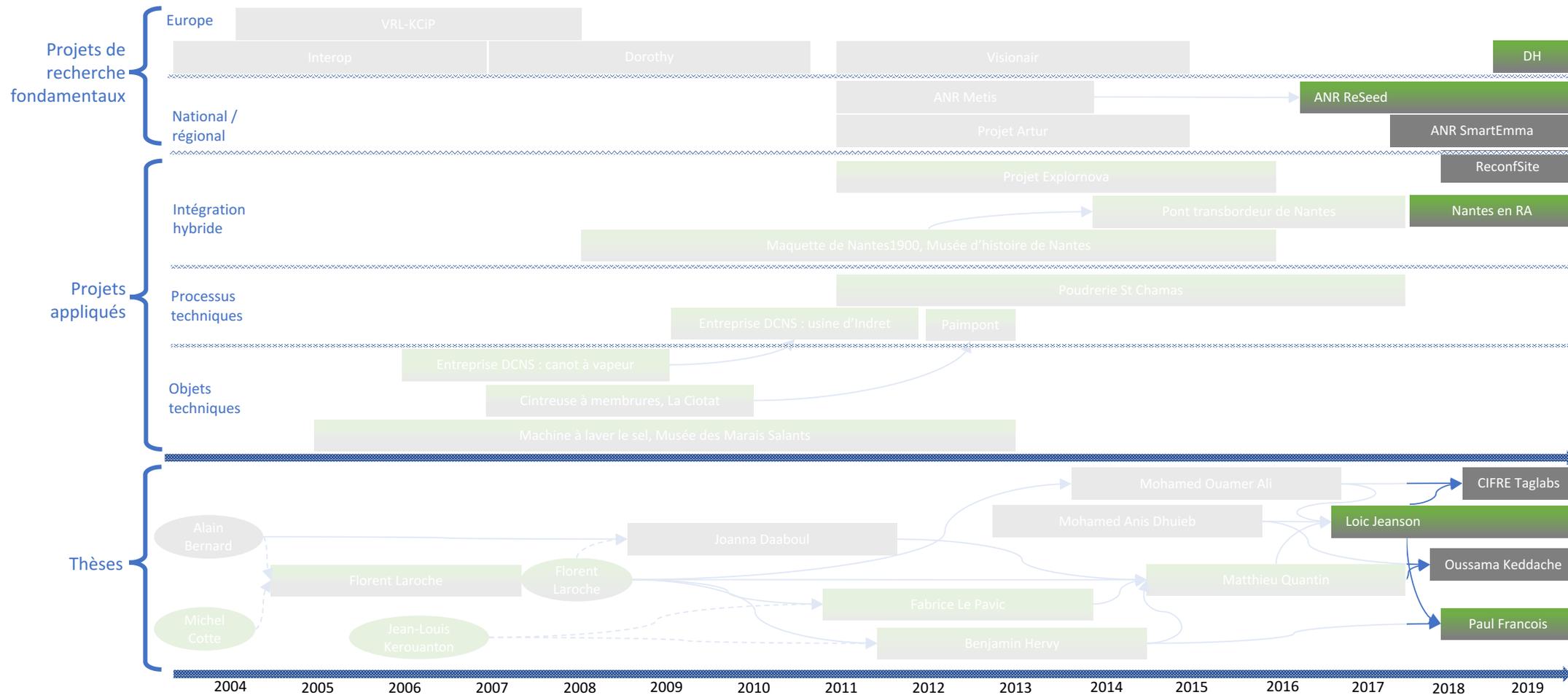
- ✓ Opérationnaliser le reverse-engineering  **Ki4D**
- ✓ Nouveaux procédés de  **numérisation 3D**

- ✓ Multi-modalités de  **valorisation**
- ✓ Nouveaux services de liens  **KM-RV-RA**
- ✓  **Impression 3D**

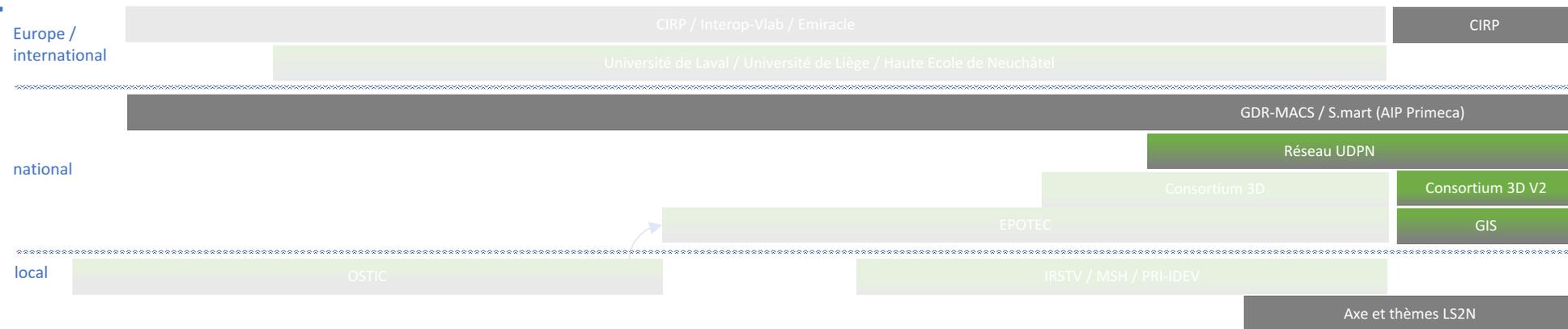
Créer l'outil du musée du futur ?

Définir le lien avec l'entreprise du futur pour ne pas réinventer la roue mais innover.





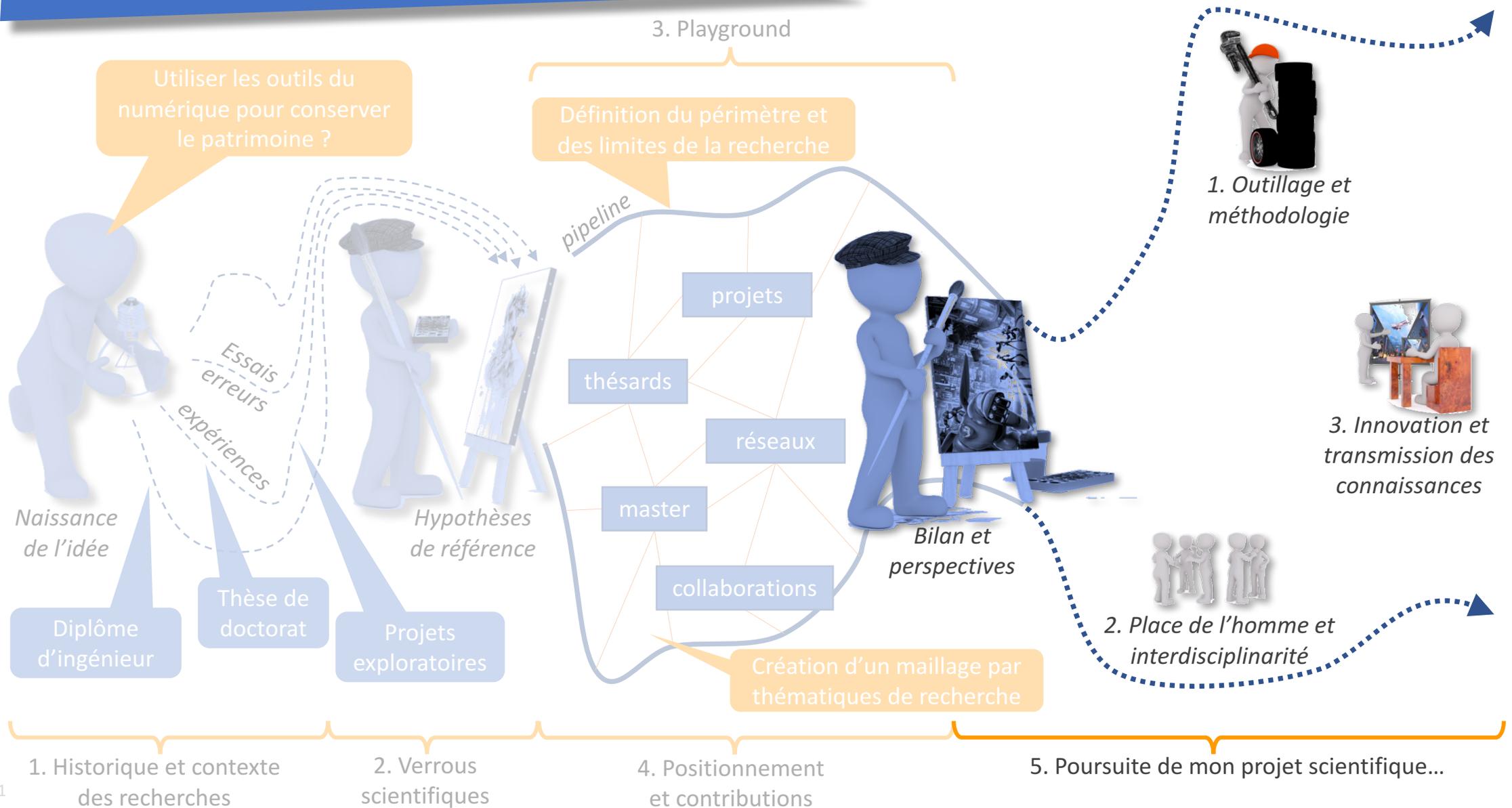
**Réseaux / fédérations / collaborations**



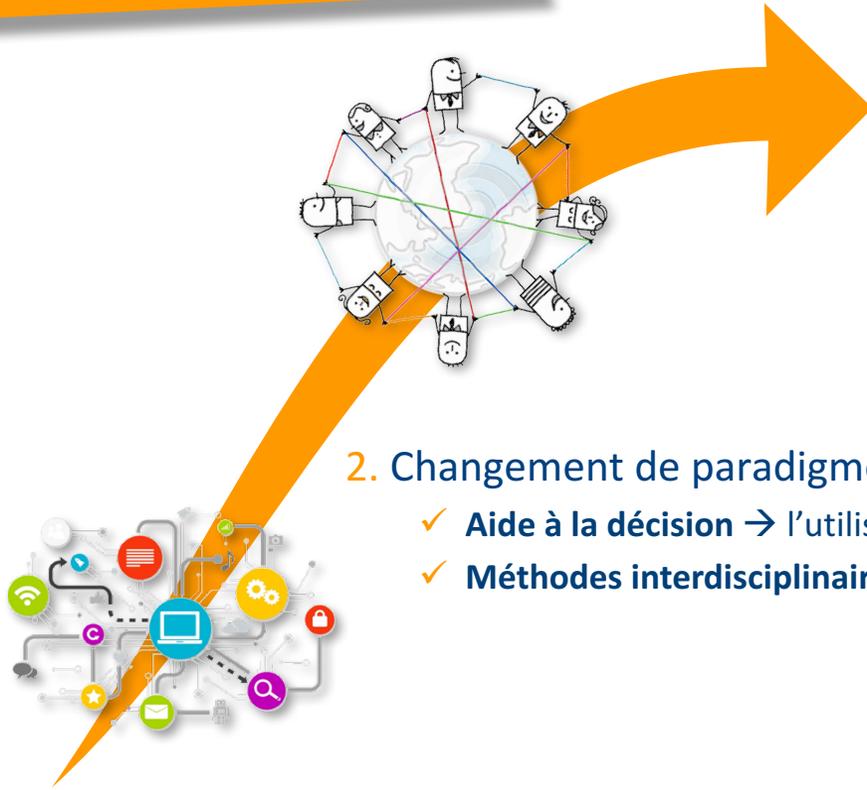


Des nouvelles trajectoires à explorer...

# Ma trajectoire scientifique



# Perspectives



## 2. Changement de paradigme sur une interdisciplinarité anthropocentrée

- ✓ **Aide à la décision** → l'utilisateur reste maître du processus
- ✓ **Méthodes interdisciplinaires** entre **numériciens & historiens**

## 1. Outillage et méthodologie

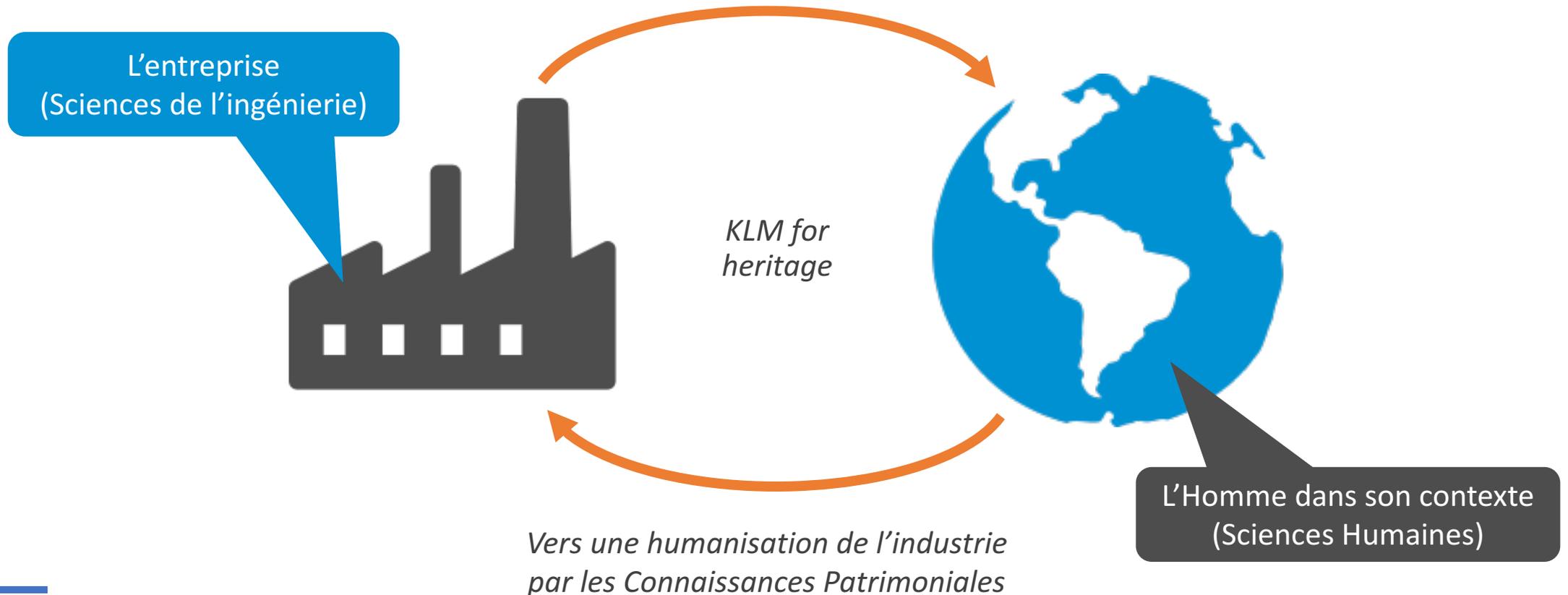
- ✓ **Un aspirateur virtuel de savoir-faire ?**
- ✓ **Continuité numérique** → ADN intergénérationnel du savoir immatériel industriel
- ✓ **Statut du double numérique** → label « patrimoine numérique 3D »
- ✓ Nouvelles approches pour l'**industrie du numérique**
- ✓ Permettre la **conservation** et la **reconversion** des sites industriels

## 3. Changement des mentalités pour transmettre les connaissances

- ✓ **Innovation dans les entreprises** par réinjection du savoir-faire ancien
- ✓ Le patrimoine comme **outil didactique** → **pédagogie transdisciplinaire**
- ✓ Evolution du **métier d'ingénieur**, comme un architecte de l'objet.

# Prospectives : *Pour une nécessaire interdisciplinarité*

*Le patrimoine comme pilier de connaissance  
pour construire un futur durable*



# DATA ACCESS USE

## KLM for Heritage

Soutenance Habilitation à Diriger les Recherches - 8 décembre 2017  
Florent Laroche, Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes