

ÉCOLE NATIONALE DES CHARTES

---

**Lucie Ledieu**

*licencié ès lettres*

# Explorer les réseaux de transmission de données historiques

Elaboration de visualisations pour  
l'application AIKON

Mémoire pour le diplôme de master  
« Technologies numériques appliquées à l'histoire »

2025



# Résumé

Résumé

**Mots-clés :** mot1 ; mot2 ; mot3 .

**Informations bibliographiques :** Prénom Nom, *Titre du mémoire*, mémoire de master « Technologies numériques appliquées à l'histoire », dir. Prénom Nom, École nationale des chartes, 20\*\*.



# **Remerciements**



# Introduction

La mission principale de ce stage était de concevoir des preuves de concept pour des visualisations à partir des données des projets EIDA et VHS. Ces dernières ont pour but de tester la faisabilité et la pertinence de visualisations à intégrer au sein de l'application de traitement semi-automatique de données AIKON. Avant de les développer, j'ai rédigé un cahier des charges et un benchmark des solutions techniques envisageables. Ces livrables techniques m'ont permis de définir des objectifs clairs ainsi que les limites de mon projet. Afin de bien comprendre le fonctionnement de l'application AIKON et l'expérience utilisateur qu'elle procure, j'ai rédigé une documentation pour les différentes fonctionnalités de l'interface utilisateur. Pour clore ce stage, un Digital Humanities Seminar a été organisé pour partager aux chercheurs mes recherches, les différentes étapes de réalisation des visualisations et les résultats obtenus. Plus largement, ce travail m'a amené à réaliser une réflexion approfondie autour du concept de visualisation des données en sciences humaines et sociales que je vais exposer dans ce mémoire.



## **Première partie**

**Enjeux scientifiques et techniques de  
l'analyse automatisée des  
transmissions iconographiques**



# Chapitre 1

## Les diagrammes astronomiques comme objets d'étude des circulations visuelles

L'histoire des sciences nous offre une grande diversité de représentations iconographiques : des diagrammes, des figures géométriques, des illustrations scientifiques (botanique, zoologique, anatomique, pharmacologique) des schémas, des croquis, des cartes et des plans.

Ces images ont pour objectif d'illustrer, de schématiser, d'expliquer, de démontrer et de comprendre un concept, une théorie ou un phénomène. Elles sont les témoins de la transmissions des savoirs à travers l'espace et le temps.

### 1.1 L'*Almageste* : un corpus idéal pour l'étude des transmissions

Les sources astronomiques constituent un exemple parfait pour l'étude des transmissions d'idées à travers les époques et les aires géographiques par le biais d'éléments iconographiques. En effet, chaque culture apporte des améliorations et des adaptations à ces derniers pour correspondre au mieux aux besoins spécifiques de leurs pratiques. L'observation des corps célestes ainsi que l'évolution des mathématiques ont contribué à l'essor de l'astronomie.

Parmi elles, l'*Almageste*, l'un des textes les plus importants de l'astronomie antique écrit par Claude Ptolémée, témoigne de la circulation d'un système géocentrique du monde.

Claude Ptolémée est un astronome du II<sup>e</sup> siècle appartenant à l'école d'Alexandrie. Il serait intervenu dans le monde scientifique grec entre 90 et 168 ap. J.-C. à un moment où l'astronomie a peu évolué depuis les travaux d'Hipparque entre 147 et 127 av. J.-C. Il

est connu pour le modèle géocentrique de l'univers qui porte son nom. Il développe cette théorie dans son ouvrage le plus connu, la *Grande Syntaxe mathématique*, désignée le plus souvent sous le nom d'*Almageste*<sup>1</sup>.

Cette œuvre contient un catalogue des étoiles, un traité complet de trigonométrie plane et sphérique, une liste des instruments essentiels à avoir dans un observatoire et une partie consacrée aux mouvements des astres. C'est dans cette dernière partie, qu'il reprend un modèle géocentrique déjà connu pour le perfectionner en précisant la théorie des épicycles et en ajoutant l'innovation mathématique du point équant<sup>2</sup>. Dans un modèle géocentrique, la Terre est au centre de l'univers et les différents astres, c'est-à-dire le Soleil, la Lune et les planètes, gravitent autour d'elle selon des cercles dits épicycles et déférents<sup>3 4</sup>. Les observations et la description des procédures mathématiques appliquées pour définir les paramètres du modèle de Ptolémée forment une grande partie de l'*Almageste*<sup>5</sup>.

La diffusion de l'*Almageste* est remarquable. Elle s'étend sur plus de 1400 ans et concerne à la fois le bassin méditerranéen, le monde arabe, l'Occident latin mais aussi certaines régions d'Asie. Nous devons la transmission de cette œuvre de l'Antiquité à la Renaissance à de nombreux copistes, traducteurs et commentateurs.

Après la mort de Ptolémée, l'astronomie grecque connaît peu d'innovation. Les travaux réalisés par ses successeurs sont principalement des commentaires de ses écrits. Les savants ne cherchent pas à remettre en question son modèle qui demeure la norme durant de nombreux siècles et dans de nombreuses aires géographiques. Cependant, il existe tout de même quelques variantes avec l'apparition de différentes traditions de l'œuvre.

Les diagrammes, élément central dans les sources astronomiques, joue un rôle important dans l'étude de la diffusion de l'œuvre de Ptolémée. Il s'agit de représentations iconographiques utilisées en astronomie pour illustrer les positions, les mouvements et les relations entre les corps célestes.

Pour la tradition grecque de l'*Almageste*, deux savants réalisent des commentaires de l'œuvre peu de temps après la disparition de Ptolémée. Théon d'Alexandrie qui aurait vécu autour de 364 ap. J.-C. est l'un des commentateurs les plus prolifiques des travaux de Ptolémée. Cependant, son commentaire de l'*Almageste* n'a pas entièrement survécu aux différentes époques et certaines parties sont aujourd'hui manquantes<sup>6</sup>. Vers 340 ap. J.-C.,

1. Jean-Pierre Verdet, « De l'aube de l'astronomie à l'aurore de l'astrophysique », dans *Une Histoire de l'astronomie*, Paris, 1990 (Points).

2. *Astronomy - Ancient Greece, Stars, Planets / Britannica*, <https://www.britannica.com/science/astronomy/Ancient-Greece>, juin 2025.

3. L'épicycle est le cercle sur lequel circulent les planètes. Le centre de ce cercle bouge sur un cercle coplanaire nommé déférent qui est centré sur la Terre (*Epicycles de Ptolémée*, <https://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/ptolemee.html>).

4. Pierre Costabel, « CLAUDE PTOLÉMÉE (90 Env.-Env. 168) », dans *Encyclopædia Universalis*.

5. *Astronomy - Ancient Greece, Stars, Planets / Britannica...*

6. Anne Tihon, « Le Livre V Retrouvé Du Commentaire à l'Almageste de Théon d'Alexandrie », *L'Antiquité Classique*, 56–1 (1987), p. 201-218, doi : 10.3406/antiq.1987.2208.

un deuxième savant grec, le mathématicien Pappus d’Alexandrie rédige un commentaire de l'*Almageste* dans le *Livre IV* de ses *Collections mathématiques*. Il s’agit d’un ouvrage dans lequel il expose de manière complète et systématique toutes les connaissances de son époque en apportant des explications et des approfondissements<sup>7</sup>.

Par la suite, l’œuvre se diffuse hors du monde hellénistique vers le monde arabe. Le savant persan Mohammad Nasir al-Din al-Tūsī rédige un *Tahrir al-Majistī*, ce qui signifie *Commentaire sur l’Almageste*<sup>8</sup>.

Averroès est aussi à l’origine d’un *Abrégé de l’Almageste* écrit en 1159-1162. La particularité de cette œuvre vient du fait qu’elle ait été écrite en Andalousie au XIIe siècle dans un contexte de remise en question de l’astronomie ptolémaïque. En effet, des savants comme Maïmonide, Ibn Bajja ou Ibn Tufayl pensaient qu’il était nécessaire de réformer les idées de Ptolémée pour qu’elles concordent parfaitement avec la vision aristotélicienne du monde. Averroès fait parti de ce mouvement mais lorsqu’il rédige l’*Abrégé de l’Almageste*, il n’a pas la volonté de corriger l’œuvre. En effet, il préfère attendre une réforme totale de l’astronomie ptolémaïque et se résigne donc à suivre les idées de son temps sur l’*Almageste*. Quelques petites erreurs involontaires se sont sans doute glissées dans son *Abrégé de l’Almageste*. Même s’il possède un solide bagage scientifique, Averroès n’est pas astronome à l’origine<sup>9</sup>. Nous ne possédons qu’une version de cette œuvre traduite en hébreu par Jacob Anatoli dans le cadre du mécénat de l’empereur Frédéric II au XIIIe siècle. Il n’existe plus aucun témoin de la version arabe et il semblerait que cette dernière n’ait jamais été traduite en latin<sup>10</sup>.

Plusieurs siècles plus tard, Gérard de Crémone importe l’œuvre de Ptolémée dans l’Occident chrétien. Ce dernier se rend à Tolède dans le but d’avoir accès aux traductions arabes de l’*Almageste* alors que l’œuvre n’existe pas encore en latin. Grâce à sa connaissance de l’arabe et à ses solides connaissances en logique, mathématique et astronomie, Gérard de Crémone réalise la première traduction latine de l’*Almageste*. Par la suite, il n’hésite pas à effectuer plusieurs révisions de la traduction en consultant de nouveaux manuscrits en arabe. Il existe donc plusieurs états du texte traduit par Gérard de Crémone. Paul Kunitzsch, un chercheur allemand en études arabes, a relevé trois états de sa traduction. Il a examiné trente-quatre témoins de l’œuvre mais seulement quatre d’entre-elles possède explicitement le nom de Gérard de Crémone. Il semblerait que des copies de son travail soient sorties progressivement de Tolède au fur et à mesure qu’il traduisait l’œuvre

7. Jacques MEYER, « PAPPUS », dans *Encyclopædia Universalis*, 1999.

8. Universalis, « MOHAMMAD NAŞİR AL-DİN AL TŪSĪ - (1201-1274) », dans *Encyclopædia Universalis*, 2008.

9. Juliane Lay, « Averroès : abrégé d’astronomie dans la version hébraïque de Jacob Anatoli », *Annuaires de l’École pratique des hautes études*, 129–12 (1998), p. 267-268, DOI : 10.3406/ephe.1998.10769.

10. Id., « Un Averroës hebraicus inédit : l’Abrégé de l’Almageste », dans *Averroès et l’averroïsme : Un itinéraire historique du Haut Atlas à Paris et à Padoue*, dir. André Bazzana, Nicole Bériou et Pierre Guichard, Lyon, 2005 (Collection d’histoire et d’archéologie médiévales), p. 203-237, DOI : 10.4000/books.pul.19600.

et qu'il apportait des corrections<sup>11</sup>.

La BNF (Bibliothèque Nationale de France) possède plusieurs copies de la traduction de l'*Almageste* par Gérard de Crémone. Elle possède notamment la plus ancienne copie de son premier état, le manuscrit *Latin 14738*<sup>12</sup>. Elle détient également une copie latine réalisée en 1213 à Paris avec des annotations<sup>13</sup>, le manuscrit *Latin 16200*. Dans l'une des initiales historiées du manuscrit, nous pouvons observer une illustration en hommage à Ptolémée le représentant sous la forme d'un roi trônant en majesté<sup>14</sup>.

Ces différentes copies, traductions et commentaires montrent à quel point la diffusion de l'œuvre est étendue. La vision géocentrique de l'univers de Ptolémée n'est remise en question qu'au XVIe siècle suite aux travaux de Nicolas Copernic. Dans son *De Revolutionibus orbium caelestium*, il défend la théorie de l'héliocentrisme dans laquelle le Soleil se trouve au centre du monde<sup>15</sup>.

## 1.2 L'iconographie comme témoin des diffusions intellectuelles

Comme nous venons de le voir, les diagrammes astronomiques ont joué un rôle crucial dans la diffusion du savoir astronomique depuis l'Antiquité.

### 1.2.1 Les différentes familles de diagrammes

Nous pouvons regrouper les diagrammes en différentes familles. Néanmoins, les frontières de ces dernières ne sont pas totalement étanches. Il se peut que certains diagrammes aient des caractéristiques de plusieurs familles à la fois. Les diagrammes mathématiques servent à représenter des concepts géométriques ou arithmétiques par l'usage spécifique d'idiomes, de lignes, de cercles et d'étiquettes alphabétiques. Ils servent par exemple à calculer la position d'une planète ou d'une étoile. Les diagrammes astrologiques montrent la position des astres à un moment donné pour en tirer des prédictions ou des interprétations sur les activités humaines. Ils sont dessinés à l'aide de lignes, de cercles et d'un

11. Danielle Jacquart, « Des traductions au fil de la plume et à la chaîne ? Le cas de Gérard de Crémone », *Cahiers d'études hispaniques médiévales*, 41–1 (2018), p. 111-123, DOI : 10.3917/cehm.041.0111.

12. *Ibid.*

13. Claudio (0100?-0170?) Auteur du texte Ptolemaeus, Gerardus Cremonensis (1114-1187) Traducteur et Maître de l'Almageste (ou Maître du Ptolémée de la Sorbonne) Enlumineur, *Ptolemeus, Almagestum, Transl. a Gerardo Cremonense*, 1213.

14. *Traduction latine de l'Almageste de Ptolémée par Gérard de Crémone*, <https://essentiels.bnf.fr/fr/image/9c790ae1-7ad3-47dc-96d3-82aaf7eaf2df-traduction-latine-lalmageste-ptolemee-par-gerard-cremone>.

15. Jean-Pierre VERDET, « HÉLIOCENTRISME », dans *Encyclopædia Universalis*, 2008.

langage graphique. Les diagrammes d'instrument permettent de comprendre le fonctionnement ou la structure d'un instrument astronomique comme l'astrolabe ou le quadrant afin de réaliser une observation ou un calcul. Ils sont représentés à l'aide de graduations, de nombres, de lignes et de cercles plus métriques que dans les autres familles. Pour finir, le diagramme cosmologique montre l'organisation de l'univers dans son ensemble par le biais de l'utilisation d'un langage de couleur et de texture<sup>16</sup>.

### 1.2.2 Construire le *stemma codicum* de l'œuvre à partir des diagrammes

En 2014, Dominique Raynaud publie un article nommé "*Building the stemma codicum from geometric diagrams. A treatise on optics by Ibn al-Haytham as a test case*" dans lequel il expose une idée novatrice : il veut établir le *stemma codicum* d'une tradition écrite uniquement à partir de diagrammes<sup>17</sup>.

Un *stemma codicum* est une représentation de toutes les étapes de la transmission d'une œuvre sous la forme d'un arbre inversé en établissant des relations entre les différents manuscrits. Le but du philologue est alors de reconstituer le texte le plus proche du manuscrit original perdu que l'on nomme « archéotype ». Lorsqu'un texte est copié à plusieurs reprises, il constitue une « tradition littéraire » dont les exemplaires sont nommés « témoins » dans le domaine de la philologie. Pour tenter de reconstituer le *stemma codicum* il est donc nécessaire de relever les différentes variantes provenant des divers manuscrits<sup>18</sup>.

Pour établir un *stemma codicum* à partir de diagrammes, Dominique Raynaud emprunte à la biologie le principe de cladistique. Il s'agit « d'une méthode de classification biologique qui exprime la phylogénie, c'est à dire les relations de parenté existant entre les êtres vivants ». Cette méthode « repose sur le partage de caractères hérités d'une ascendance commune », c'est-à-dire d'un « ancêtre commun »<sup>19</sup>.

Il explique que pour étudier les différents témoins d'une œuvre et les traditions qui l'entourent, il faut se baser sur les erreurs afin de réaliser un arbre généalogique. Nous pouvons affirmer qu'en utilisant cette démarche, il choisit de suivre l'approche de Lachmann. Il s'agit d'une méthode philologique élaborée au XIXe siècle par le philologue allemand Karl Lachmann dite de l'erreur commune. Ce dernier défendait la thèse suivante : Si un des témoins du texte présente une erreur, alors il y a de fortes chances que cette

---

16. Conférence 2025 : *A Long History of Diagrammatization in the Astral Sciences*, <https://eida.hypotheses.org/conference-2025>, 2025.

17. Dominique Raynaud, « Building the Stemma Codicum from Geometric Diagrams : A Treatise on Optics by Ibn al-Haytham as a Test Case », *Archive for History of Exact Sciences* (, mars 2014), DOI : 10.1007/s00407-013-0134-0.

18. Marc Le Pouliquen, *Using Lattices for Reconstructing Stemma*.

19. Pascal TASSY, « CLADISTIQUE », dans *Encyclopædia Universalis*, 2012.

erreur soit aussi présente dans son descendant<sup>20</sup>.

Dominique Raynaud teste sa méthode sur un traité d'optique d'Ibn al-Haytham. En suivant cette démarche, il est arrivé à constituer le premier *stemma* de diagrammes jamais publié. Ce dernier a été réalisé à partir des cinq témoins contenant l'œuvre :

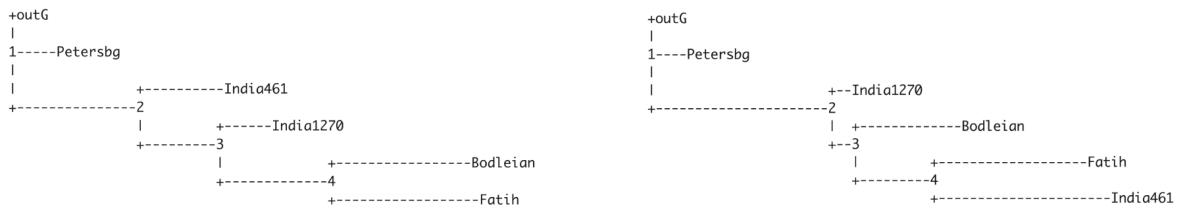


FIGURE 1.1 – Stemmatum pour les diagrammes (à gauche) et pour le texte (à droite)<sup>21</sup>

En y regardant plus en détail, nous pouvons voir qu'il y a une forte similitude entre le *stemma* textuel et le *stemma* des diagrammes. Nous pouvons en venir à la conclusion suivante : Quand les diagrammes sont intégrés au texte, il est envisageable de ne faire qu'un seul arbre pour les deux. Néanmoins, si les diagrammes ont été copiés a posteriori du texte ou qu'ils ont été corrigés par la suite, mieux vaut réaliser deux *stemmata* distincts et étudier leur transmissions séparément. Le fait qu'ils aient été copiés par des personnes différentes à des moments distincts impacte fortement leur étude. Il est même plus avantageux de réaliser le *stemma codicum* d'une tradition mathématique à partir des diagrammes. La densité d'erreur serait sept à huit fois plus élevée dans un diagramme géométrique que dans un texte occupant la même superficie. Dans la mesure où sa méthode repose sur le relevé d'erreurs, il est plus judicieux de réaliser un *stemma* avec des diagrammes<sup>22</sup>.

Comme nous venons de le voir, il est possible de retracer l'historique d'une œuvre grâce à ses diagrammes. Cependant, ces derniers sont des éléments iconographiques complexes. Il convient donc de les étudier de manière rigoureuse.

### 1.3 Limites des approches philologiques traditionnelles

L'historien des sciences peut se heurter à de nombreuses difficultés lors de son étude des diagrammes. La manière de les représenter diffère en fonction des conventions et des choix éditoriaux. Comparer les diagrammes à l'œil nu devient complexe même pour un spécialiste.

20. M. L. Pouliquen, *Using Lattices for Reconstructing Stemma...*

22. Id., « Building the Stemma Codicum from Geometric Diagrams... ».

### 1.3.1 Les différentes conventions de représentation d'un diagramme

Le travail de l'historien des sciences peut s'avérer compliqué lorsqu'un concept ou une démonstration est représentée de manière différente dans différents témoins. En effet, les conventions et les choix graphiques des diagrammes diffèrent en fonction de l'époque, de l'endroit et du sujet d'étude.

Michela Mal pangotto étudie ce phénomène en s'appuyant sur l'exemple de l'œuvre de Théodose les *Sphériques* écrite au Ier siècle avant notre ère. Il s'agit d'un texte fondamental dans l'étude de la géométrie sphérique qui est structuré en cinquante-neuf propositions et divisé en trois livres. Il fait partie de ce que l'on nomme la « Petite astronomie », un recueil d'ouvrages compilés par les Grecs afin de faciliter la compréhension de l'*Almageste* de Ptolémée. Il a été étudié et transmis pendant près de dix siècles. La géométrie sphérique est définie de la manière suivante : « La géométrie sphérique étudie la sphère comme un objet solide mais surtout comme contexte spatial des éléments qui interagissent sur elle dans un agencement tridimensionnel complexe. » Il est alors nécessaire de mettre au même niveau, le plan du diagramme et l'agencement spatial des objets autour de la sphère. Cette dernière est un objet solide mais elle est surtout un contexte spatial pour des arcs, des segments de droites et des cercles qui y sont déterminés par l'intersection de différents plans inclinés dans l'agencement spatial tridimensionnel. Cependant, le concept de sphère n'est pas représenté de la même manière chez tous les auteurs<sup>23</sup>.

Dans la version grecque originale, illustré ici par le manuscrit *Vat. Gr. 204*, les deux parties de l'œuvre sont séparées par le choix de l'iconographie des diagrammes. Dans la première partie, nous retrouvons des diagrammes dans lesquelles la sphère n'est pas représentée. Il y a seulement des cercles produits par l'intersection du plan incliné de différentes façons qui sont représentés de manière juxtaposée dans le plan du diagrammes. Les arcs ainsi que les segments linaires sont aplatis et les objets placés de l'autre côté de la sphère sont retournés dans le plan de la figure. La conséquence majeure de ce mode de représentation est la dépendance des diagrammes vis-à-vis du texte. Il est nécessaire de lire les explications pour comprendre le diagramme. Dans la seconde partie de l'œuvre, les diagrammes sont construits en utilisant la perspective. Nous pouvons donc observer les éléments géométriques interagir entre eux à l'intérieur de cette dernière<sup>24</sup>.

En Italie, Platon de Tivoli a réalisé trois éditions de cette œuvre au XVI<sup>e</sup> siècle en s'appuyant sur une version arabo-latine médiévale. Il choisit de représenter les diagrammes de manière schématique et plane comme dans la première partie de la version grecque originale de l'œuvre. L'édition de Francesco Maurolico marque un tournant dans la

23. Michela Mal pangotto, « Graphical Choices and Geometrical Thought in the Transmission of Theodosius' *Spherics* from Antiquity to the Renaissance », *Archive for History of Exact Sciences*, 64-1 (janv. 2010), p. 75-112, DOI : 10.1007/s00407-009-0054-1.

24. *Ibid.*

transmission des *Sphériques*. En effet, ce dernier fait le choix de travailler sur la surface de la sphère qui, mise en avant, devient le contexte réel dans lequel les éléments géométriques interagissent. Christophe Clavius, un mathématicien allemand adopte cette iconographie dans son édition de 1586 qui sert de base à la tradition moderne des *Sphériques*<sup>25</sup>.

Vat.Gr. 204	Plato of Tivoli	Maurolico
Lacking proposition	I.13 	I.15 
I.11 	I.15 	I.16 
I.12 	I.16 	I.17 
Lacking proposition	I.32 	I.33 

FIGURE 1.2 – Différentes conventions de représentation de diagrammes évoquées par Michela Mal pangotto<sup>26</sup>

L'étude de Michela Mal pangotto nous montre l'existence de nombreuses conventions graphiques de diagrammes pouvant être très différentes en fonction des éditeurs et des époques. Lorsque nous tentons de retracer la diffusion d'une œuvre à partir de ces diagrammes, il est important de prendre en compte ce paramètre. Néanmoins, ces différentes manières de représenter les diagrammes sont aussi en elles-mêmes les témoins de l'évolu-

25. *Ibid.*

tion d'un concept et donc par extension des connaissances scientifiques.

La question de la représentation des diagrammes est aussi une problématique que nous retrouvons dans les éditions plus contemporaines.

### 1.3.2 La modification des diagrammes dans les éditions modernes des sources scientifiques

Les modifications que s'autorisent à faire les historiens et éditeurs contemporains peuvent rendre la comparaison avec les sources anciennes compliquée. Dans l'article déjà cité précédemment, Ken Saito étudie les éditions modernes des diagrammes astronomiques des *Elements* d'Euclide. Il expose la problématique suivante : les diagrammes que nous voyons dans les éditions imprimées à partir du XIXe siècle sont très différents de ceux présents dans les manuscrits médiévaux. Pourtant les témoins datant du Moyen Age sont les meilleures versions, voire les seuls exemplaires d'œuvres antiques mathématiques en absence de manuscrit datant de cette époque. La version qui sert de base à beaucoup d'éditions contemporaines est celle de Heiberg datant de 1883-1888. Cependant, ce dernier s'est contenté de recopier les diagrammes de Ferdinand August simplifiés dans un but pédagogique dans son édition datant des années 1820<sup>27</sup>. Se pose alors la question des conventions d'édition. Deux points de vue s'opposent. Nous avons d'abord celui de la maison d'édition *Les Belles Lettres* décrit dans leur *Règles et recommandations pour les éditions critiques* qui explique qu'il est nécessaire de reproduire les diagrammes aussi précisément que possible sans essayer de les corriger ou de les modifier. Michael Hunter, lui, défend plutôt l'idée selon laquelle il est acceptable que les diagrammes soient redessinés pour que l'intention originelle de l'auteur soit transmise au lecteur<sup>28</sup>.

Ces différentes manières de représenter un même diagramme peuvent poser problème aux chercheurs lorsque ces derniers cherchent à établir des liens entre les différents témoins d'une même œuvre ou tradition. Même pour un spécialiste qui connaît parfaitement les différentes conventions, identifier et comparer chaque diagramme dans plusieurs témoins peut s'avérer être très chronophage.

27. Ken Saito, « Traditions of the Diagram, Tradition of the Text : A Case Study », *Synthese*, 186–1 (2012), p. 7-20, JSTOR : 41494921.

28. Boris Jardine et Nicholas Jardine, « Critical Editing of Early-Modern Astronomical Diagrams », *Journal for the History of Astronomy*, 41–3 (août 2010), p. 393-414, DOI : 10.1177/002182861004100307.



# Chapitre 2

## AIKON et l'automatisation des traitements

### 2.1 Le choix de la vision artificielle pour ces objets d'étude : la plateforme AIKON

La vision artificielle ou *computer vision* en anglais est « une branche spécifique de l'intelligence artificielle traitant de l'acquisition par une machine de compétences de traitement et d'analyse d'image numériques pour en extraire des données »<sup>1</sup>. Dans le cadre de l'application AIKON (A computer vision platform for historians), la vision artificielle permet d'assister et faciliter le travail des historiens à l'aide d'outils développés pour répondre aux besoins spécifiques des sciences historiques. La vision artificielle a déjà été beaucoup exploitée dans le domaine des sciences historiques et de la philologie pour traiter des données textuelles, notamment avec l'OCR (Optical Character Recognition) et l'HTR (Handwritten Text Recognition). Cependant, ces dernières années, des projets comme *Visual Contagion*<sup>2</sup> ou *ONiT Explorer*<sup>3</sup> se sont également penchés sur la question de l'application de la *computer vision* sur des corpus iconographiques, notamment à travers la reconnaissance automatique de similarités. AIKON s'inscrit dans cette volonté de développer des outils pour traiter les images avec l'intelligence artificielle.

#### 2.1.1 L'application AIKON

##### Présentation

AIKON est une application de recherche *open-source* conçue pour permettre aux chercheurs en sciences humaines et sociales d'exploiter des outils de computer vision afin

---

1. Jade Norindr, *Le traitement des sources historiques par la vision artificielle : l'exemple des manuscrits d'astronomie de tradition ptoléméenne*, other, Paris, Ecole nationale des chartes, 2023, p. 152.

2. *Home @ Visual Contagions*, <https://visualcontagions.unige.ch/explore/>.

3. *ONiT Explorer*, <https://labs.onb.ac.at/en/tool/onit-explorer/>.

d'analyser de vastes corpus de données historiques<sup>4</sup>.

Ses modèles d'intelligence artificielle disponibles dessus sont également *open source*. Cela signifie que n'importe qui peut accéder au code et utiliser l'application de manière gratuite. AIKON permet de décrire les sources historiques et analyser des corpus visuels en vue de leur potentielle édition<sup>5</sup>.

## L'architecture

L'architecture de l'application AIKON est la même pour tous les projets qui l'utilisent.

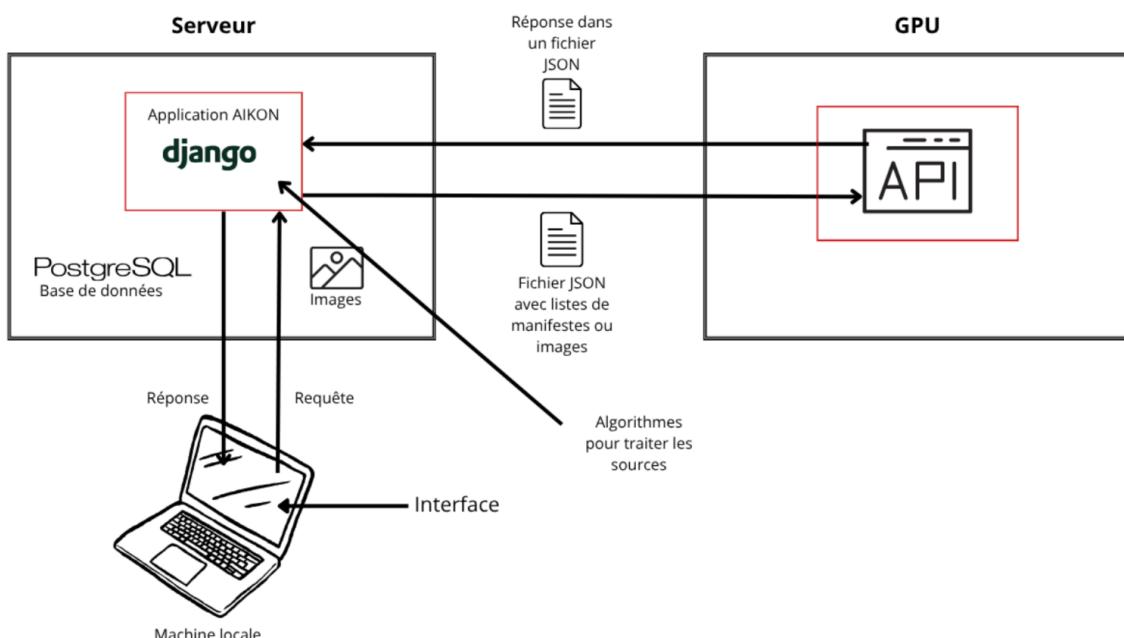


FIGURE 2.1 – Architecture de l'application AIKON

L'utilisateur interagit avec l'application via une interface graphique. Il envoie une requête à l'application qui est hébergée sur un serveur. AIKON est codée en python avec Django. Il s'agit d'un *framework open-source* qui permet de développer des applications web robustes facilement. Sur le serveur, il y a également la base de données PostgreSQL et les numérisations du projet. Pour réaliser un traitement automatique des données, l'extraction de *regions* ou la reconnaissance de similarités par exemple, l'application envoie un fichier JSON (JavaScript Object Notation) avec des listes de manifestes ou d'images à l'API (*Application Programming Interface*) déployée sur le GPU (Graphics Processing

4. Aikon, *Aikon-Platform/Aikon*, juill. 2025.

5. Ségolène Albouy, J. Norindr, Fouad Aouinti, Clara Grometto, Robin Champenois, Stavros Lazaris, Alexandre Guilbaud, Matthieu Husson et Mathieu Aubry, *AIKON : Computer Vision Platform for Digital Humanities*.

Unit). Lorsqu'elle reçoit le fichier JSON, elle le traite avec l'algorithme choisi par l'utilisateur via l'interface graphique. Ensuite, l'API renvoie un nouveau fichier JSON avec des annotations à l'application. Pour finir, l'utilisateur peut accéder aux résultats de l'opération sur son interface graphique pour les utiliser.

## Le modèle de données

AIKON possède un modèle de données commun à tous les projets qui l'exploitent mais il reste extensible pour s'adapter aux besoins spécifiques de ces derniers. Il est composé de plusieurs tables connectées entre elles.

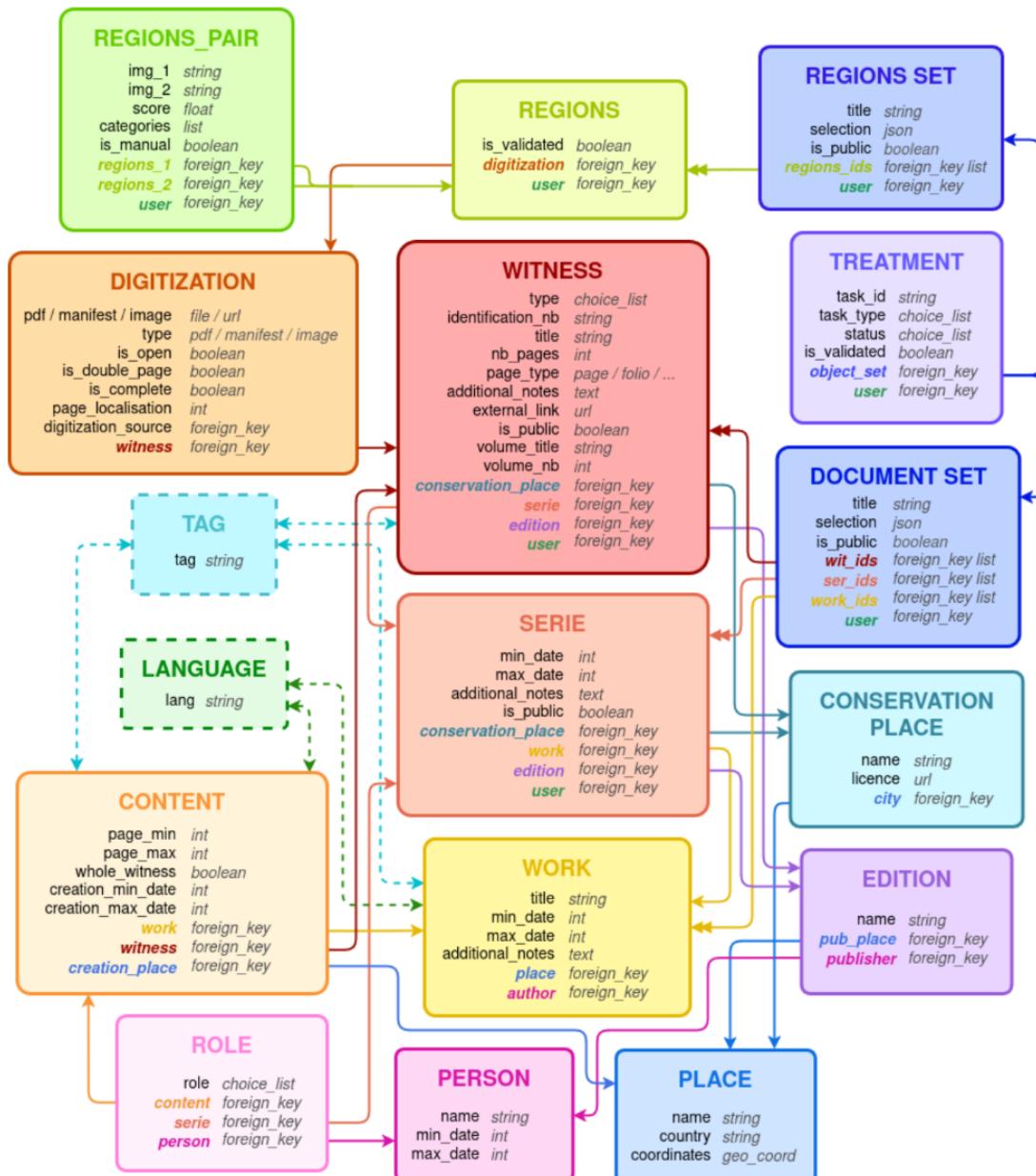


FIGURE 2.2 – Modèle de données de l'application AIKON

La table centrale du modèle de données est *witness*. Elle contient toutes les informations relatives à chaque document numérisé mis en ligne sur l'application. Elle est reliée aux autres tables par le biais de *foreign keys*.

Dans ce modèle de données, nous retrouvons des tables reliées à des fonctions différentes :

- La description du *witness* et de ses métadonnées : *witness, conservation place, edition, place, person, role, content, language*
- La numérisation du *witness* : *digitization*
- L'organisation des *witnesses* en sous-séries : *serie, works*. Les *series* sont des groupes de *witnesses* partageant une cohérence commune comme un volume d'édition ou des fragments de manuscrits conservés dans différentes institutions. Les *works* sont des productions intellectuelles abstraites qui englobent ses idées fondamentales et son contenu.
- : Les traitements automatiques : *treatment, regions set, regions, region pairs*

Cependant, certaines tables ont plusieurs fonctions grâce aux liens qui les relient entre elles.

Dans le cadre de notre étude, nous allons surtout nous concentrer sur les tables relatives au traitement automatique des sources et notamment à *region pairs*.

L'application AIKON est née des projets EIDA (Editing and analysing hIstorical astronomical Diagrams with Artificial intelligence) et VHS (Computer vision and Historical analysis of Scientific illustration circulation). Il existe également une instance *demo* utilisée par l'Ecole nationale des ponts et chaussées. D'autres projets souhaiteraient utiliser AIKON à l'avenir pour traiter leurs sources. C'est le cas du projet *High Vision* dont le but est d'étudier en s'aidant de la *computer vision* des photographies de presse datant de la fin XIXe siècle au début du XXe siècle qui ont été numérisées en masse<sup>6</sup>.

### 2.1.2 Le projet VHS

VHS est un projet qui a pour but de mettre en place une nouvelle approche de l'étude historiques du savoir scientifique en utilisant les outils numériques pour l'analyse d'image<sup>7</sup>. Il a permis de constituer un nouveau *dataset* d'illustrations scientifiques du Moyen-Age et de l'époque moderne. Cela a permis d'extraire près de 235000 images à partir de 405000 pages du corpus. Suite à l'annotation manuelle des résultats d'extraction d'image, 8000 d'entre-elles ont été validées par des historiens<sup>8</sup>. Ce *dataset* est composé de quatre corpus sélectionnés pour leur diversité en ce qui concerne leur thématique, leur

---

6. *HIGH VISION – Projet ANR*, juin 2025.

7. *Presentation*, <https://vhs.hypotheses.org/presentation>.

8. AOUINTI Fouad, BALTAZAR Zeynep Sonat, AUBRY Mathieu, GUILBAUD Alexandre et LAZARIS Stavros, « Computer Vision and Historical Scientific Illustrations », (, 2023).

époque et leur aire géographique. Nous avons d’abord le *Physiologus* un texte rédigé vers le IIe siècle de notre ère à Alexandrie. Il est composé d’une centaine de manuscrits écrits en grec dont 13 d’entre eux sont illustrés. Ces derniers ont été réalisés entre le XIe et le XVIe siècle et ils ont été diffusés dans tout l’Occident chrétien. Nous avons pu extraire environ 680 images d’animaux, de plantes et de minéraux. Le deuxième corpus concerne le *De materia medica* écrit vers 77 de notre ère par Dioscoride. Il est conservé dans 65 manuscrits grecs. 17 d’entre eux réalisées entre le VIe et le XVIe siècle sont illustrés d’environ 8340 images de plantes, d’animaux et de minéraux. Les deux derniers corpus contiennent des planches de *l’Encyclopédie* de Diderot et d’Alembert publiées entre 1751 et 1772 mais aussi leurs sources et leur inclusion ultérieure dans d’autres encyclopédies. Les deux thèmes principaux de ces corpus sont l’histoire naturelle et les sciences mathématiques. Ainsi, nous retrouvons au sein du projet VHS à la fois deux œuvres datant de l’Antiquité et ayant été diffusés durant tout le Moyen Age et l’époque moderne<sup>9</sup>.

### 2.1.3 Le projet EIDA

EIDA est un projet d’envergure internationale qui a pour but l’étude et l’analyse des diagrammes de tradition ptolémaïque dans un corpus de témoins allant du IXe siècle au XIXe siècle avec des sources en latin, hébreu, sanskrit, byzantin, perse, grec, chinois et arabe. Il rassemble deux équipes de recherche. Le laboratoire LTE (Laboratoire Temps Espace) de l’Observatoire de Paris s’occupe principalement de la partie histoire des sciences du projet tandis que l’équipe IMAGINE de l’Ecole nationale des Ponts et Chaussées gère la partie *computer vision*<sup>10</sup>.

Le but du projet serait de développer des outils pour que les chercheurs puissent explorer, visualiser le corpus, communiquer les résultats lors de conférences et réaliser des éditions de diagrammes nativement numériques<sup>11</sup>.

Le projet encore en cours s’est déroulé en plusieurs étapes. La première concernait la constitution du corpus. Les chercheurs cherchent à étudier le diagramme sous un angle documentaire en tant que artefact et sous son angle épistémique en tant qu’outil de compréhension pour les acteurs historiques<sup>12</sup>.

Suite au développement des premiers outils numériques de la plateforme, il a été possible d’appliquer aux sources de premiers traitements automatiques. L’extraction puis la reconnaissance automatique de *region pairs* et le calcul de similarité ont permis de distinguer les diagrammes en double et de les interpréter dans plusieurs traditions, œuvres

9. *Corpus*, <https://vhs.hypotheses.org/corpus>.

10. S. Albouy, J. Norindr, F. Aouinti, *et al.*, *AIKON : Computer Vision Platform for Digital Humanities...*

11. *Conférence 2023 : Towards the EIDA Corpus for the History of Astronomical Diagrams*, <https://eida.hypotheses.org/conferences/conference>, 2023.

12. *Ibid.*

et témoins<sup>13</sup>.

Les chercheurs ont pu réaliser de premières observations. Il se trouve que les diagrammes peuvent être regroupés en fonction de leurs similarités. Un diagramme peut être rattaché à une œuvre, à une thématique ou à une famille<sup>14</sup>.

Les chercheurs se réunissent régulièrement pour mener une réflexion autour du projet lors de conférences et séminaires.

Sur le long terme, le but du projet serait de mettre à disposition des chercheurs une interface utilisateur sur le modèle de celle de DISHAS (Digital Information System for the History of Astral Science), un projet antérieur mené par l'Observatoire de Paris.

## 2.2 Les fonctionnalités de computer vision dans AI-KON

### 2.2.1 L'extraction des regions

Il existe plusieurs algorithmes pour extraire des régions dans AIKON.

Le modèle servant de base pour les modèles d'extraction automatique de EIDA et VHS est YOLO (You Only Look Once)<sup>15</sup>. Ce dernier peut être utilisé pour différentes tâches de vision artificielle comme la segmentation et la détection d'objet. Pour être adapté à ces deux projets, il a été finetuné sur des illustrations scientifiques historiques pour VHS et sur des diagrammes astronomiques pour EIDA, annotés par les chercheurs au préalable via l'interface AIKON.

### 2.2.2 La reconnaissance et le calcul de similarité

L'algorithme utilisé pour reconnaître automatiquement les similarités et calculer leur score est *SegSwap*. Ce dernier a été entraîné uniquement sur des données synthétiques. Le but de cet algorithme est de retrouver des correspondances exactes sur des couples d'images avec uniquement des variations de style. Cet algorithme prend alors en entrée deux images et il retourne une matrice de transposition. Pour constituer le corpus d'entraînement, des images hybrides ont été générées automatiquement. Il faut alors extraire d'un autre modèle des objets d'une image avant de le coller sur une autre. Ensuite, du bruit et des filtres sont ajoutés. Il est alors nécessaire d'utiliser l'image originelle avec l'objet et l'image hybride en plus de la matrice de correspondance.

---

13. Conférence 2024 : *Graphic Conventions, Visual Idioms, (Dis)Similarity in Astronomical Diagrams*, <https://eida.hypotheses.org/conferences/conference-2024>, 2024.

14. Conférence 2025 : *A Long History of Diagrammatization in the Astral Sciences...*

15. Glenn Jocher, *YOLOv5 by Ultralytics*, mai 2020, DOI : 10.5281/zenodo.3908559.

En raison de son coût élevé, le calcul de score de similarité est calculé avec un algorithme plus simple, une similarité de cosinus, avant son utilisation. Le but est de récupérer l'*embedding* vectoriel d'une image et le comparer avec celui d'une autre image. Plus l'angle entre les deux vecteurs est faible, plus les images sont considérées comme similaires. Ensuite, *SegSwap* est appliqué uniquement sur les vingt images dont le score de similarité est le meilleur.

## 2.3 De l'annotation manuelle au traitement de masse : les interfaces existantes

Les différents projets utilisant AIKON possèdent leur propre interface avec des bases de données distinctes hébergés sur des serveurs différents. Cependant, son aspect et son fonctionnement restent les mêmes.

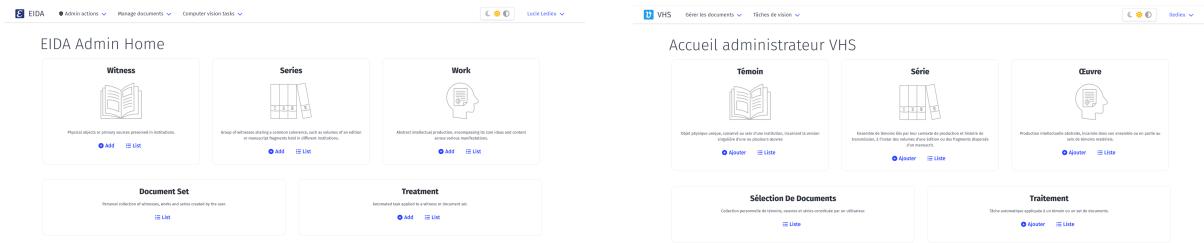


FIGURE 2.3 – Interfaces administrateur EIDA et VHS

Pour l'instant, ni VHS, ni EIDA ne possède d'interface publique. Les chercheurs utilisent actuellement l'interface administrateur, c'est-à-dire le *back-office*. Ils possèdent chacun un compte avec un statut « admin » tandis que les ingénieurs en charge du développement et de la gestion de l'application sont en mode « super-admin ». L'avantage de ces interfaces est qu'il n'est pas nécessaire de savoir coder ou faire des requêtes SQL (Structured Query Language).

Un *User's guide* détaillant les différentes options a été rédigé. Nous nous concentrerons sur les principales fonctionnalités.

### 2.3.1 La constitution du corpus : gestion des sources numérisées

Avant d'effectuer des traitements automatiques, l'application AIKON permet de constituer un corpus, le gérer et le partager.

Pour ajouter la numérisation d'un document comme un manuscrit par exemple, il faut ajouter un nouveau *witness*. Il est possible de renseigner énormément de métadonnées pour le décrire comme sa cote, son lieu de conservation ou son type de pagination par exemple. Pour certaines catégories, comme c'est le cas avec le lieu de conservation, si celui de notre document n'est pas déjà disponible dans la base de données, nous devons le créer.

Il pourra alors être réutilisé par les autres utilisateurs par la suite. En ce qui concerne le format de la numérisation, AIKON accepte les pdf, les manifestes IIIF (International Image Interoperability Framework) ainsi que les images en format jpg ou png.

Une fois le *witness* ajouté à la base de données, les autres chercheurs inscrits sur la plateforme pourront accéder à lui et aux résultats des différents traitements qui lui seront appliqués. Un formulaire est d'ailleurs disponible pour affiner ses recherches.

FIGURE 2.4 – Capture d'écran de l'interface de consultation des différents *witnesses* sur EIDA

Les différents *witnesses* peuvent être organisés en sous-ensembles cohérents. Par exemple, nous pouvons réunir tous les volumes d'une même édition disponibles dans différentes institutions. Il est d'ailleurs aussi possible de réunir plusieurs *witnesses* en un *work* quand il s'agit de la même œuvre.

Pour créer sa propre collection de *witnesses*, nous avons la possibilité de créer des *document sets* en cliquant sur « Add to selection ». Cette fonctionnalité est utile notamment lorsque nous voulons lancer un traitement pour plusieurs *witnesses* à la fois.

### 2.3.2 L'extraction des regions

AIKON propose une fonctionnalité permettant d'extraire des *regions*. Dans le cas d'EIDA, il s'agit des diagrammes. Cette action peut se faire de manière manuelle, notamment lors de l'entraînement de l'algorithme ou lorsque ce dernier fait une erreur.

### L'annotation manuelle avec Mirador

Pour annoter de manière manuelle les *regions* d'un *witness*, il faut se servir de Mirador<sup>16</sup>, un outil *open-source* d'annotation d'image. Afin d'y accéder, il faut se rendre sur la page d'un des *witnesses* et choisir « *Manually annotate* ». Pour définir une *region*, il faut l'encadrer en utilisant le carré ou le cercle mis à disposition dans la barre de fonctionnalité.

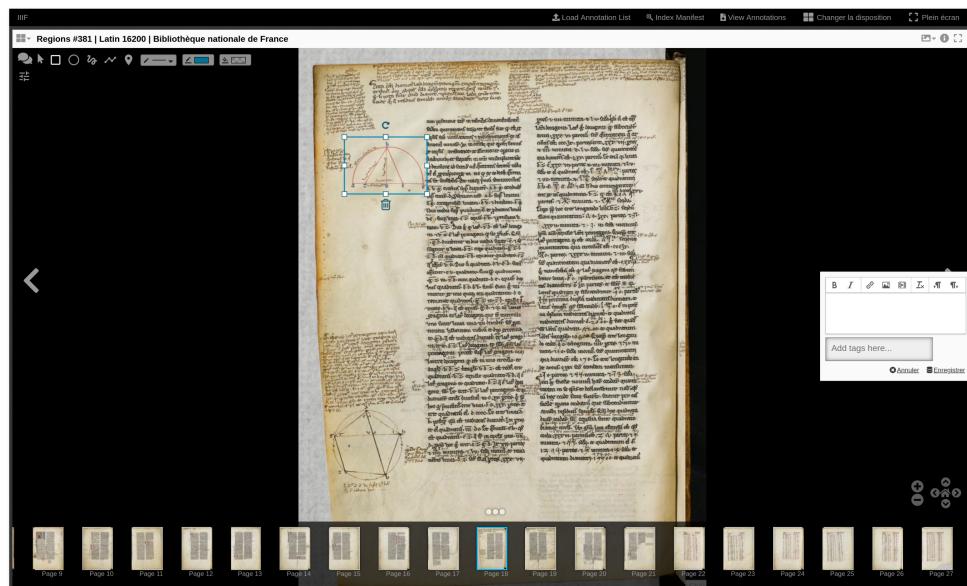


FIGURE 2.5 – Aperçu de l'outil Mirador et de ses fonctionnalités

### L'extraction automatique des regions

Annoter manuellement chaque *region* est chronophage. Heureusement, il existe des algorithmes pour réaliser une extraction automatique de toutes les *regions* d'un *witness*. Pour faire cette opération, il faut se rendre sur la page d'un des *witnesses* puis choisir « *textitAutomatic region extraction* ». Comme nous l'avons vu précédemment, il existe plusieurs algorithmes. Pour les diagrammes astronomiques, le plus approprié est « *Diagram extraction (YOLO model fine-tuned on historical diagrams)* ».

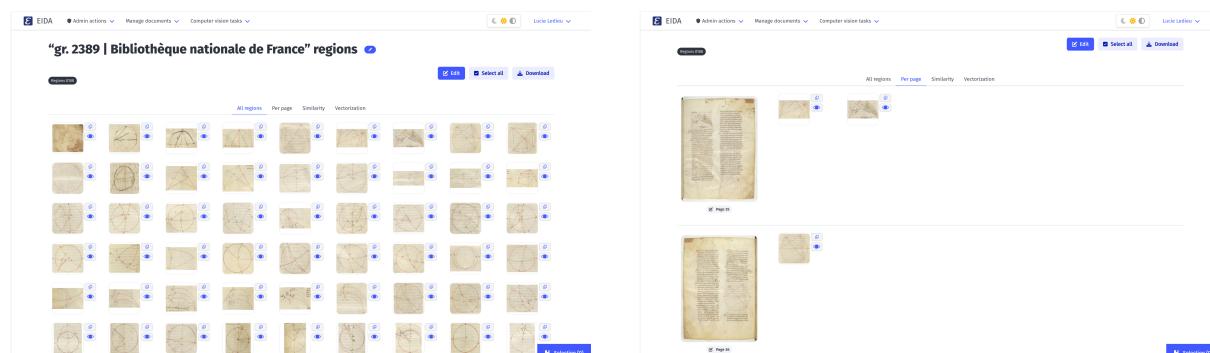


FIGURE 2.6 – *Regions* extraites par *witness* et par page

16. *Mirador — Home*, <https://projectmirador.org/>.

Une fois le traitement terminé, nous pouvons visualiser les différents diagrammes extraits soit dans le *witness* entier, soit page par page.

En cas d'erreur de l'algorithme, il est évidemment possible d'y remédier via Mirador.

### 2.3.3 La constitution de correspondances entre les regions

#### La reconnaissance automatique et le calcul du score de similarités

La plateforme AIKON propose une fonctionnalité de reconnaissance automatique de similarités couplée à la possibilité de calculer un score de similarité en chaque *region* similaire.

Pour commencer, il faut sélectionner les différents *witnesses* à comparer dans un *document set*. Ensuite, nous devons nous rendre dans l'onglet « *Computer vision tasks* » puis cliquer sur « *Add new treatment* » et choisir « *Compute similarity score* » dans « *Task type* ». Il est aussi possible de faire une extraction automatique de *regions* dans plusieurs *witnesses* au même endroit. Pour extraire des diagrammes, la meilleure solution est d'utiliser l'algorithme *SegSwap* que nous avions cité précédemment.

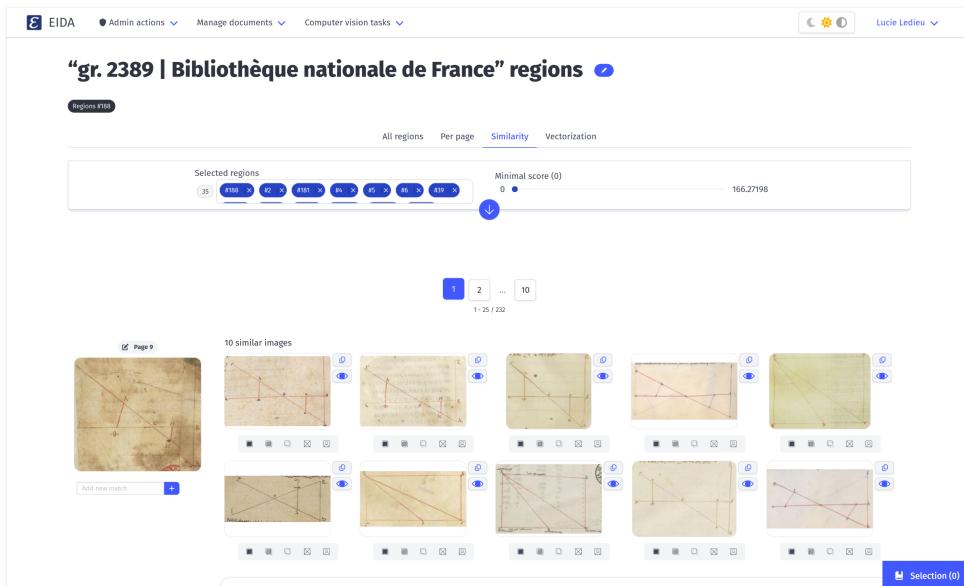


FIGURE 2.7 – Aperçu des différentes *regions* similaires dans un *witness*

Une fois le traitement réalisé, nous pouvons observer les résultats en retournant sur un des *witnesses*. IL est possible de les filtrer grâce au formulaire en haut qui propose de choisir quels *witnesses* nous voulons comparer. IL y a également un curseur pour choisir le score de similarité minimal.

#### L'annotation des résultats

Même si l'objectif final serait de créer des outils d'intelligence artificielle qui n'ont pas besoin d'être annotés au préalable, nous sommes à une étape du projet où il est encore

nécessaire de le faire pour entraîner les algorithmes.

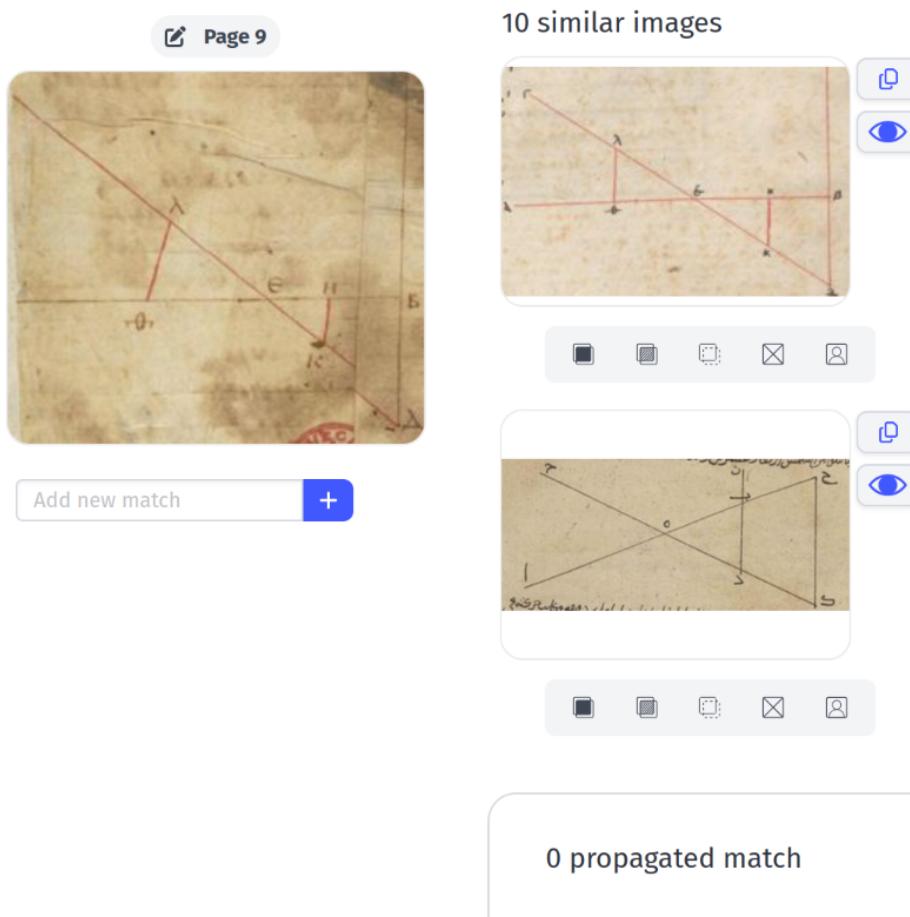


FIGURE 2.8 – Aperçu de l’interface d’annotation des similarités

Pour annoter les différentes *regions*, il y a un petit panneau en dessous de chacune d’entre-elles avec plusieurs cases qui représentent le type d’annotation :

1. *Exact match* : Les deux *regions* sont parfaitement similaires.
2. *Partial match* : Les deux *regions* sont un peu différentes.
3. *Semantic match* : Les deux *regions* sont différentes physiquement mais d’un point de vue théorique elles représentent un même concept ou signification.
4. *No match* : les deux *regions* ne sont pas du tout similaires.

En ce qui concerne le projet EIDA, l’objectif final serait de développer une interface publique sur le même modèle que celle du projet DISHAS.

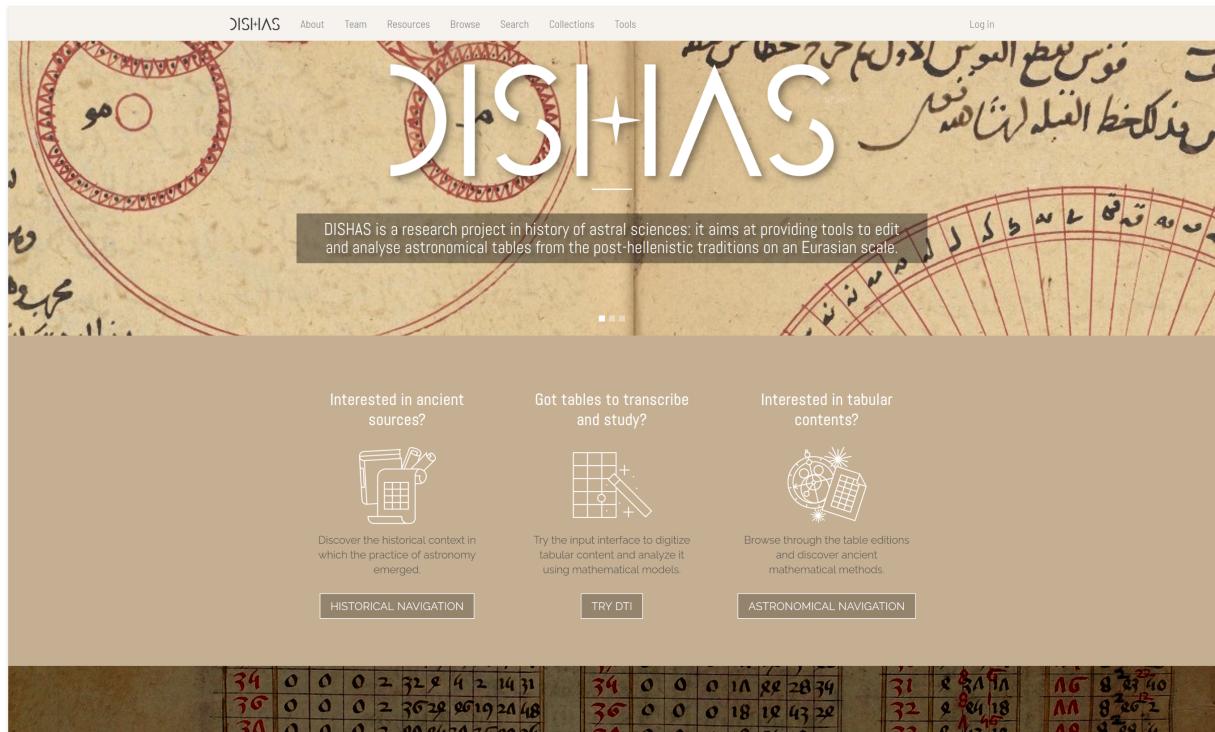


FIGURE 2.9 – Capture d'écran de l'interface publique de DISHAS

L'objectif principal d'une interface publique ou *front-office* est de mettre à disposition des utilisateurs les différents outils développés au cours du projet ainsi que les résultats obtenus. Lors de sa création, le dialogue avec les chercheurs est primordial. En effet, il doit y avoir un « fil conducteur » suivant les différentes hypothèses scientifiques ayant orienté leur réflexion dans la navigation entre les différentes pages. Les données doivent être contextualisées dans leur corpus ainsi que dans le projet en général<sup>17</sup>. Dans ce contexte, il est essentiel de réaliser des visualisations afin de les rendre accessible, de mieux les comprendre et de les explorer de manière interactive.

17. S. Albouy, *Médiation des données de la recherche : Elaboration d'une plateforme en ligne pour une base de tables astronomiques anciennes*, other, Paris, Ecole nationale des chartes, 2019.

# Chapitre 3

## Vers la nécessité d'interfaces d'exploration

### 3.1 Masse de données et limites de l'exploration manuelle

#### 3.1.1 La numérisation massive des collections visuelles

Ces dernières années, nous avons été témoin de l'accélération de la numérisation de larges corpus par les institutions patrimoniales. Grâce à leur mise en ligne, ces objets sont devenus accessibles pour tous les usagers partout dans le monde.

#### Bibliothèques, archives et musées numériques

Cette numérisation de masse des collections a permis l'apparition de plateformes en ligne où consulter les différents objets patrimoniaux. Ces sites web se présentent alors comme des bibliothèques, archives et musées numériques. Leur but est de se rapprocher de l'expérience qu'un utilisateur peut avoir lorsqu'il se rend dans l'institution en présentiel. L'avantage de ces projets est qu'il n'est plus nécessaire de se déplacer pour consulter un objet. Avant, les usagers ne pouvaient pas accéder facilement à des documents conservés dans des institutions en dehors de leur ville, voire parfois de leur pays. Cela a permis la diffusion et l'échange du savoir au niveau mondial.

Nous pouvons citer plusieurs exemples de ce type de projet.

Pour les musées, nous avons le *Musée numérique des musées de Reims* ainsi que les *Collections en ligne des musées de Paris* qui mettent à disposition des photographies de leur œuvres. En ce qui concerne les archives, au niveau nationale il y a la *Salle de lecture des archives nationales* et au niveau mondial *Internet Archives*. Pour les bibliothèques, en France nous avons *Gallica* créé par la BNF mais aussi les *Bibliothèques numériques de l'Institut de France*.

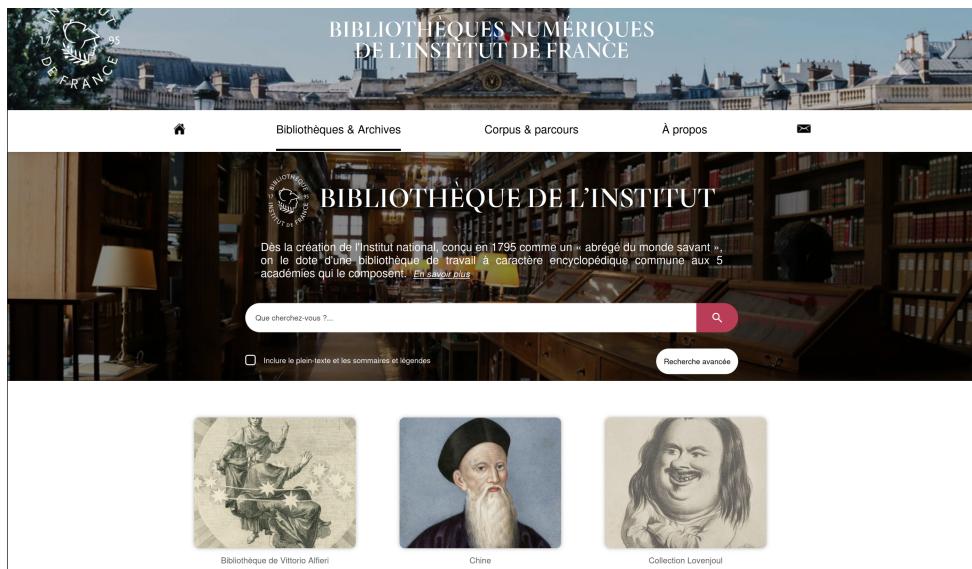


FIGURE 3.1 – Capture d'écran de la page d'accueil des *bibliothèques numériques de l'Institut de France*

Ces numérisations sont réutilisées par de nombreux projets de recherche comme EIDA.

Cependant, nous y reviendrons plus tard, la création de bibliothèques, archives et musées numériques, nous fait nous questionner sur la manière d'agencer les objets d'un point de vue visuel<sup>1</sup>. Faut-il essayer de recréer la disposition des œuvres dans ce type d'institution ou faut-il créer une nouvelle manière de penser l'agencement des objets ?

Autre point important à signaler : Toutes les numérisations que nous voyons sur les plateformes des institutions n'ont pas été réalisés par ces dernières. Le standard IIIF permet mettre en place une interopérabilité et un partage des ressources entre les différents acteurs patrimoniaux.

## Le standard IIIF

Le terme IIIF désigne à la fois un standard d'interopérabilité mis en place par différentes institutions patrimoniales mais aussi la communauté qui s'est formée autour de lui. Il a été créé pour pallier un manque de collaboration entre les différents grands acteurs du patrimoine qui auparavant rendaient leurs documents visualisables uniquement sur leurs sites web avec leurs propres visualiseurs et méthodes de diffusion<sup>2</sup>.

Il est rapidement devenu un consortium international qui se réunit pour élaborer, publier et faire évoluer les spécifications techniques à partir de cas d'usages réels, documentés et partagés. Par la suite, ces principes sont implémentés dans des logiciels et plateformes de diverses natures comme des serveurs d'images, des visualiseurs, des outils

1. Florian Windhager, Paolo Federico, Eva Mayr, Günther Schreder et Michael Smuc, « A Review of Information Visualization Approaches and Interfaces to Digital Cultural Heritage Collections » ().

2. IIIF - Documentation Biblissima+, <https://doc.biblissima.fr/iiif/>.

d'annotation, des systèmes de gestion de contenu, afin d'assurer leur interopérabilité<sup>3</sup>.

Ce standard a pour but de proposer un cadre technique commun afin de diffusion le contenu de manière standardisée. Les images sont alors consultables, manipulables et annotations sur différents logiciels compatibles. Nous pouvons visualiser, zoomer, modifier la taille, appliquer une rotation ou changer le format d'une image via l'API Image. Elle permet de manipuler les pixels d'une image à distance à travers une syntaxe d'URL (Uniform Resource Locator) standardisée. Nous pouvons dès lors faire des requêtes sur l'image. Il est également possible de faire des requêtes d'information sur l'image au format JSON. L'API Presentation sert à spécifier des métadonnées pour la présentation d'un objet virtuel via un *manifeste* qui agit comme une « *enveloppe virtuelle* » pour former une unité de distribution élémentaire. Le fichier sera manipulé par des logiciels pour interagir avec la ressource, la visualiser ou la transmettre à un autre outil<sup>4</sup>.

Il ne reste plus qu'à adresser une requête HTTP (Hypertext Transfer Protocol) avec l'adresse URL d'une page web au serveur. IIIF fournit un espace commun pour la recherche et la navigation. Par exemple, un document numérisé par la BNF et publié sur *Gallica* peut aussi être visible sur Europeana de cette manière<sup>5</sup>.

### Standardisation des métadonnées

Pour décrire les différents documents numérisés de nombreuses métadonnées sont ajoutées dans leur présentation. Cependant, chaque institution pourrait être tenté d'appliquer leur propre manière méthode en ce qui concerne la descriptions des sources numériques, ce qui va à l'encontre du principe d'interopérabilité. C'est pour cette raison que Europeana a tenté de créer un modèle standardisé : le Europeana Data Model. La documentation présente en ligne nous donne des informations sur les directives de mappages, les modèles d'objets, la définition des classes et des propriétés ainsi que le schéma XML (Extensible Markup Language) pour la validation automatique des métadonnées<sup>6</sup>.

#### 3.1.2 L'hétérogénéité des objets visuels

Les objets visuels concernés par ces standards sont multiples et hétérogènes. Nous pouvons les regrouper dans cinq catégories<sup>7</sup> :

- Le texte
- L'image
- La vidéo que nous retrouvons sur le site de l'Institut National de l'Audiovisuel

---

3. Marion Charpier et Emmanuelle Bermès, *Atelier : Initiation à IIIF*, BnF DataLab, juin 2024.

4. *IIIF - Documentation Biblissima +...*

5. Id., *Atelier : Initiation à IIIF...*

6. *Europeana Data Model*, <https://pro.europeana.eu/page/edm-documentation>.

7. F. Windhager, P. Federico, E. Mayr, *et al.*, « A Review of Information Visualization Approaches and Interfaces to Digital Cultural Heritage Collections »...

- Le son
- Les objets 3D

### 3.1.3 Les différents types d'utilisateurs

L'article *Visualization of Cultural Heritage Collection Data : State of the Art and Future Challenges* différencie les utilisateurs en deux groupes : les *casual users* et les *experts*.

#### Les *Casual users*

Les *casual users* sont des utilisateurs non spécialisés qui veulent découvrir les collections pour leur culture personnelle. Ils ne connaissent pas forcément le corpus et peuvent vite se retrouver perdus face à la masse de données. Il est donc indispensable de réaliser des interfaces adaptées à eux pour qu'ils puissent entrer dans les collections par le biais d'une thématique ou d'un sous-ensemble. Une interface dont le contenu est uniquement accessible par une barre de recherche pourrait les pénaliser.

#### Les *Experts*

Les *experts* sont des personnes qui connaissent déjà bien le corpus. Ils savent déjà ce qu'ils veulent rechercher. Intégrer une barre de recherche à l'interface est donc une nécessité.

Cependant, contrairement à ce que nous pourrions croire, l'accès aux collections uniquement de cette manière pourrait avoir un impact négatif sur leur recherche.

Ces dernières années, avec l'arrivée d'Internet, les pratiques de recherche ont été bouleversées. Auparavant, le chercheur partait par le niveau hiérarchique le plus haut comme par exemple un fond d'archives ou une collection de bibliothèque pour ensuite arriver à l'objet recherché. De nos jours, avec l'arrivée de la barre de recherche comme moyen d'accéder aux objets patrimoniaux, la méthode s'est inversée. A présent, le chercheur tape directement le nom ou un mot-clés et il accède au résultat qu'il souhaite. Cependant, en suivant cette méthode, il peut passer à côté d'une découverte importante<sup>8</sup>.

Max Kemman affirme que l'influence de Google est l'une des causes de ce problèmes. En effet, ce moteur de recherche nous incite à croire que le seul moyen d'accéder à l'information est la barre de recherche et les mots-clés. Les paramètres avancées sont trop peu souvent utilisées. Il exhorte alors les chercheurs à ne pas se limiter à cette méthode<sup>9</sup>.

---

8. Griveau, *La visualisation des données au service de la découverrabilité du patrimoine*, mai 2025.

9. Max Kemman, Martijn Kleppe et Stef Scagliola, *Just Google It - Digital Research Practices of Humanities Scholars*, avr. 2014, DOI : 10.48550/arXiv.1309.2434, arXiv : 1309.2434 [cs].

## 3.2 De l'exploitation des données à l'interprétation scientifique

### 3.2.1 La création d'interfaces généreuses

La notion de « *generous interface* » a été mentionnée pour la première fois par Mitchell Whitelaw lors d'un ICA Congress à Brisbane en Australie en 2013<sup>10</sup>.

Il reprend ce terme dans un article publié en 2015 dans lequel il exhorte les institutions patrimoniales à arrêter l'usage de la barre de recherche<sup>11</sup>.

Il commence par exposer la métaphore de la galerie d'art. Cette dernière aurait le même fonctionnement d'une barre de recherche. Pour explorer les œuvres, nous serions contraints de formuler une requête à la personne à l'accueil. Il serait possible de répéter l'action autant de fois que nous voudrions mais toujours sous la forme d'une demande. Nous ne pourrions donc pas déambuler dans différentes salles pour découvrir les œuvres sans avoir une idée précise de ce que nous voulons voir. Cette métaphore est représentative de ce qu'il se passe sur beaucoup d'interfaces proposées par les institutions patrimoniales. C'est pour résoudre ce problème qu'il propose la solution de la « *generous interface* ».

Pour décrire le comportement de l'utilisateur sur ce genre d'interface, il reprend une autre métaphore, celle du « *flaneur d'informations* » de Marian Dörk<sup>12</sup>. Ce dernier s'est inspiré de la figure du flâneur parisien du XIXe siècle qui se démarque par sa curiosité, sa créativité et son esprit critique.

Pour Mitchell Whitelaw, les interfaces classiques avec une barre de recherche ne sont pas propices à ce type d'attitude. En effet, la complexité et l'ampleur des collections patrimoniales peuvent limiter l'utilisateur dans son exploration s'il ne connaît pas très bien le corpus. Ce problème concerne même les utilisateurs « *experts* » car ces derniers peuvent passer à côté d'œuvres cachées qui auraient pu faire l'objet d'une découverte<sup>13</sup>.

Il s'appuie alors sur deux concepts qu'il emprunte à d'autres chercheurs. Nous avons d'abord celui du « *visual information seeking* » créé par Ben Shneiderman en 1996 pour définir la structure de l'interface parfaite<sup>14</sup>. Cette dernière doit se diviser au moins en trois parties :

- La *vue d'ensemble* permet d'avoir une vision globale de la collection.
- Le *zoom et filtrage* permet d'isoler un sous-ensemble.

10. *Towards Generous Interfaces for Archival Collections* - Mitchell Whitelaw, <https://mtchl.net/towards-generous-interfaces-for-archival-collections/>.

11. Mitchell Whitelaw, « Generous Interfaces for Digital Cultural Collections », *Digital Humanities Quarterly*, 009–1 (mai 2015).

12. Marian Dörk, Sheelagh Carpendale et Carey Williamson, « The Information Flaneur : A Fresh Look at Information Seeking », dans *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2011 (CHI '11), p. 1215-1224, doi : 10.1145/1978942.1979124.

13. M. Whitelaw, « Generous Interfaces for Digital Cultural Collections »...

14. Ben Shneiderman, « The Eyes Have It : A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations » () .

- Pour finir, il est possible de voir les *détails* qui sont en réalité les différents objets qui composent la collection.

A ces trois parties, s'ajoutent trois autres fonctionnalités à intégrer :

- Etablir des relations entre les différents objets afin de visualiser un contexte global ou des tendances.
- Conserver un historique de l'utilisateur pour ses prochaines visites sur l'interface.
- Donner à l'utilisateur la possibilité d'extraire les résultats pour ses recherches

Il est également possible d'emboîter plusieurs interfaces similaires à cette description pour obtenir des vues multiples et complémentaires entre elles. Le second concept emprunté par Mitchell Whitelaw est celui d' « *information surrogate* » créé par Stephan Greene<sup>15</sup>. Il s'agit d'une autre approche qui consiste à utiliser un aperçu comme un substitut pour représenter un ensemble d'objet. Cela peut être une alternative à la vue d'ensemble de Ben Shneiderman.

Le concept de « *generous interface* » a reçu beaucoup d'approbation dans la communauté scientifique. Il est repris par George Oates lors d'une conférence EuropeanaTech en 2015<sup>16</sup> à Paris pour implorer les institutions patrimoniales à laisser de côté le modèle de la barre de recherche pour leurs interfaces. EuropeanaTech Insights lui consacre également trois articles en 2019<sup>17</sup>.

### 3.2.2 La découverte par la sérendipité

La terme de sérendipité est emprunté au mot anglais « *serendipity* » créé par Horace Walpole au XVIII<sup>e</sup> siècle. Selon le *Dictionnaire de l'Académie Française*, la sérendipité désigne un « don de faire par hasard des découvertes fructueuses » et « une forme de disponibilité intellectuelle qui permet de tirer de riches enseignements d'une trouvaille inopinée ou d'une erreur »<sup>18</sup>.

Réaliser une *generous interface* avec des visualisations serait donc un moyen d'inciter, d'encourager et de récupérer l'information dérivée d'une découverte par sérendipité.

Pour amener à la sérendipité, il est intéressant de présenter son interface de manière structurée et soigner comme dans les collections d'une bibliothèque ou d'un musée. L'utilisateur est alors incité à se promener sur le site comme il pourrait le faire dans la vie réelle. Le principe de recommandation et l'affichage d'objets similaires à celui que nous recherchons sont deux idées amène à réaliser des découvertes fortuites<sup>19</sup>.

---

15. Stephan Greene, Gary Marchionini, Catherine Plaisant et B. Shneiderman, « Previews and Overviews in Digital Libraries : Designing Surrogates to Support Visual Information Seeking », 51–4 (2000), p. 380-393.

16. *EuropeanaTech 2015*, <https://pro.europeana.eu/event/europeanatech-2015>.

17. *Issue 11 : Generous Interfaces*, <https://pro.europeana.eu/page/issue-11-generous-interfaces>.

18. *Sérendipité / Académie Française*, <https://www.academie-francaise.fr/serendipite>.

19. F. Windhager, P. Federico, G. Schreder, Katrin Glinka, M. Dörk, Silvia Miksch et E. Mayr, « Visualization of Cultural Heritage Collection Data : State of the Art and Future Challenges », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25–6 (juin 2019), p. 2311-2330.

### 3.2.3 Le dépassement des capacités humaines

La visualisation peut nous permettre de distinguer des tendances et des irrégularités au sein du collection d'objet patrimoniaux que nous n'aurions pas remarquer si nous avions fait les recherches manuellement. Cependant, quand cette dernière rencontre des technologies poussées comme l'intelligence artificielle, elle peut aller plus loin encore.

Nous pouvons prendre pour exemple le projet *Philherit* qui traite les problématiques liées à l'héritage en philosophie dans un large corpus grâce aux nouveaux outils numériques. En effet, au XIXe siècle, sa proximité avec la question de la justice sociale la rend centrale et de nombreux écrits variés voient le jour.

Pour étudier ce corpus, les chercheurs du projet ont extraits sept bases de données issues de *Gallica*. Par la suite, ils ont réparti les textes dans différents thèmes identifiés par le modèle de traitement automatique du langage naturel BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). Ce dernier a ensuite généré automatiquement une visualisation sous la forme d'un nuage de mot qui reprend les grands thèmes. Plus un mot est présents dans le corpus, plus sa taille dans le nuage de mot sera conséquente. Cela permet de dégager les questions les plus abordées dans le corpus et d'accéder aux ouvrages qui les concernent<sup>20</sup>.

Comme nous venons de le voir, l'utilisation de l'intelligence artificielle sur un corpus peut nous aider à générer des visualisations intéressantes pour aider les chercheurs et favoriser la découverte par sérendipité.

## 3.3 Questions de recherche et besoins d'exploration du corpus

### 3.3.1 Présentation des projets

A présent, nous allons analyser la manière de visualiser les objets patrimoniaux de trois projets utilisant l'intelligence artificielle pour réaliser de la reconnaissance automatique de similarités comme le fait l'application AIKON afin de mieux cerner les besoins nécessaires.

- Le projet *Visual Contagion* mené par la faculté des lettres de Genève a mis en place l'outil *Explore*. Ce dernier sert à regrouper les images similaires en cluster. Le but de ce projet est d'étudier la circulation d'images de 1890 aux débuts d'internet à l'échelle mondiale. En effet, certaines ont davantage circulé que d'autres car elles ont été reproduites, copiés, imitées et pastichées. L'étude de ces images nous permet de nous questionner sur les raisons du succès de certaines d'entre-elles tout en saisissant comment leur circulation a contribué à la mondialisation

---

20. Griveau, *La visualisation des données au service de la découverbarilité du patrimoine...*

de la culture. Le projet se questionne également sur les questions de domination symbolique de nation ou de culture en particulier à certains moments de l'histoire<sup>21</sup>.

- *ONiT Explorer* est une plateforme dont le but est d'explorer une collection d'image tirées de récits de voyage dans l'Empire ottoman<sup>22</sup>.
- *iArt* est un moteur de recherche en histoire et histoire de l'art destinée à la recherche de similarités pour les chercheurs<sup>23</sup>.

Pour étudier ces différents projets nous allons nous appuyer sur les critères que nous avons vu précédemment.

### 3.3.2 Analyse des interfaces

#### Les interfaces et leurs différentes vues

Ce qui attire notre attention lorsque nous arrivons pour la première fois sur une plateforme est l'interface. En général, cette dernière est composée de plusieurs pages dont le nombre diffèrent en fonction des fonctionnalités et des différentes vues présentes.

Dans les trois projets, il est possible d'appliquer l'analyse de Shneiderman<sup>24</sup> concernant la décomposition d'une *generous interface*.

L'outil *Explore* du projet *Visual Contagion* est divisé en deux grandes parties. D'un côté, il y a une interface pour rechercher une image en particulier dans le corpus et une autre pour explorer les images similaires dans le corpus. Lorsque nous choisissons la deuxième option, nous arrivons sur la *vue d'ensemble* où les images sont organisées en *clusters* affichés de manière horizontale. Cette manière d'organiser l'application est propice à la découverte par sérendipité car le visiteur déambule à travers les différents clusters comme s'il était dans un musée ou une bibliothèque. Il n'est pas obligé d'avoir une idée précise en tête ou de connaître parfaitement le corpus.

---

21. *Home @ Visual Contagions...*

22. *ONiT Explorer...*

23. *iART*, <https://www.iart.vision/>.

24. B. Shneiderman, « The Eyes Have It : A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations »...

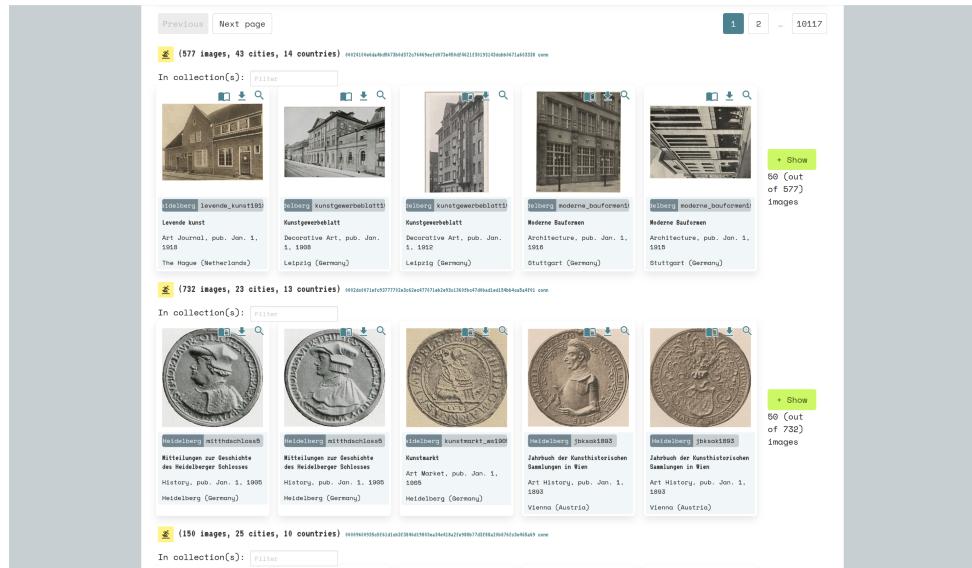


FIGURE 3.2 – Capture d'écran de la *vue d'ensemble* de différents *clusters* sur la plateforme *Explore*

Quand nous utilisons le bouton *+ Show*, toutes les images du *cluster* s'affichent sous la forme d'une mosaïque. Si nous cliquons sur l'identifiant du *cluster* en haut de celui-ci pour obtenir un *sous-ensemble*, toutes les images le composant apparaissent sur une nouvelle page. Il existe une fonctionnalité nommée *cluster-surf* qui permet d'afficher une visualisation chrono-cartographique où sont disposées toutes les images du *cluster*.

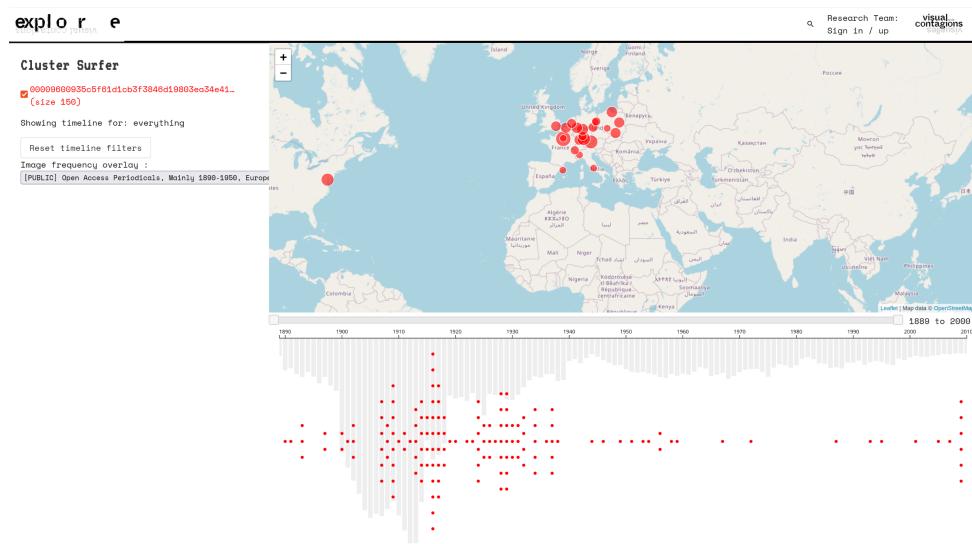


FIGURE 3.3 – La fonctionnalité *cluster-surfer* sur la plateforme *Explore*

Pour finir, il est possible de montrer le *détail* pour voir les métadonnées ainsi que les liens vers les différents *clusters* dans lesquels l'objet se situe.

Pour la plateforme *iArt*, lorsque nous faisons une recherche par mot-clé ou aléatoire, les images s'affichent en *vue d'ensemble* sous la forme d'une mosaïque. Si nous utilisons

la fonctionnalité *Use 2D canvas view* dans *Result view*, elles s'affichent en *sous-ensemble* sous forme de *clusters* éloignés dans l'espace. Si nous cliquons sur l'une d'entre-elles pour afficher le *détail*, une fenêtre pop-up apparaît avec l'image, ses métadonnées et des *tags*.

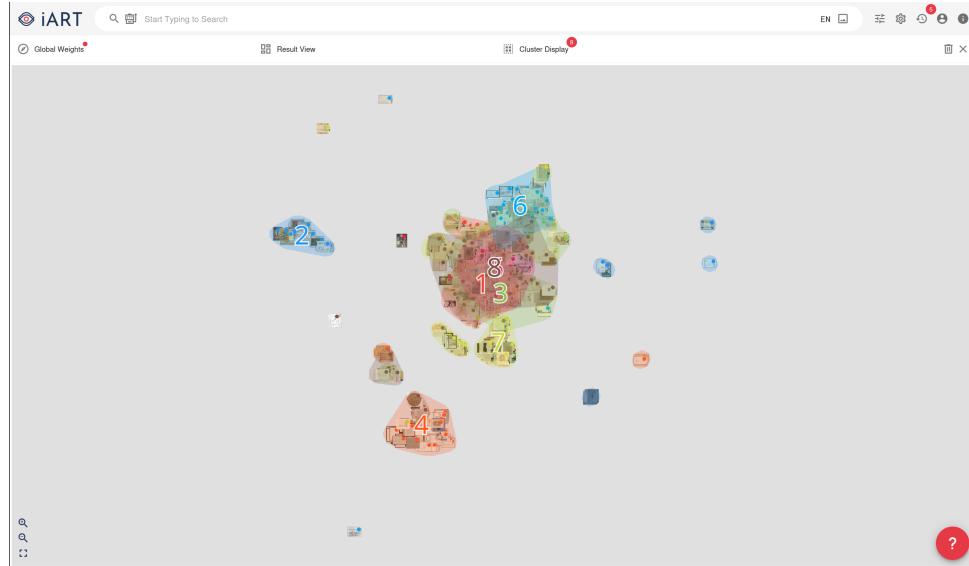


FIGURE 3.4 – Visualisation sous forme de *clusters* sur l'interface *iArt*

Pour la plateforme *ONiT Explorer*, l'ordre est un peu différent. Lorsque nous faisons une recherche par mot-clé, tous les résultats s'affichent sous une *vue d'ensemble* en mosaïque. Si nous cliquons sur une image, nous obtenons le *détail* de cette dernière avec toutes ses métadonnées. En cliquant sur *More Images (this Book)*, nous avons un *sous-ensemble* contenant toutes les images de l'ouvrage.

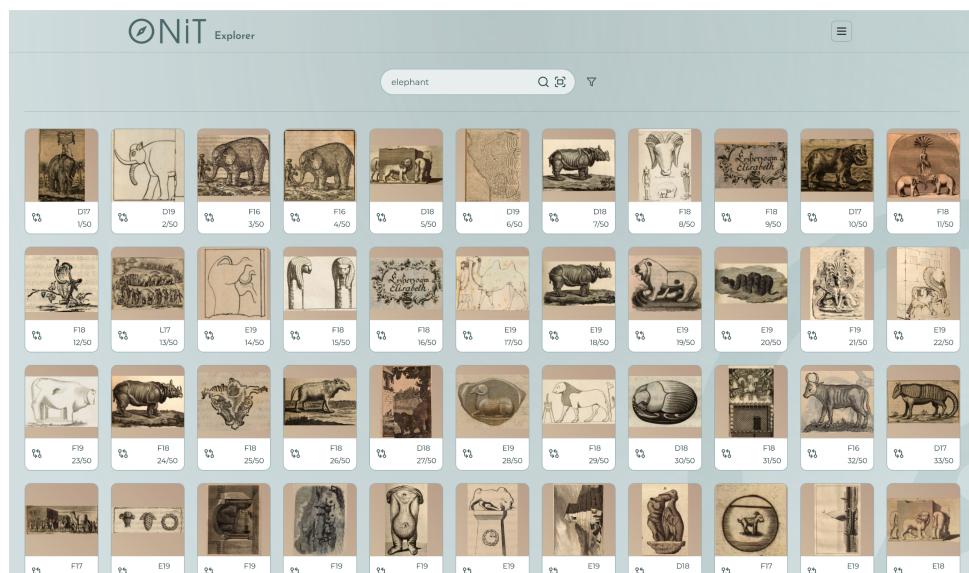


FIGURE 3.5 – L'affichage en mosaïque des résultats de recherche sur la plateforme *ONiT Explorer*

Dans ces cas de figure, nous pouvons signaler que le type d'affichage favorisé est

celui de la mosaïque.

### Le système de recherche

La barre de recherche tant décrié par Max Kemman<sup>25</sup> et Mitchell Whitelaw<sup>26</sup> est utilisée dans les trois projets mais d'une manière différente.

Dans la partie exploration du corpus de la plateforme *Explore*, son usage est très limité au profit de la visualisation sous forme de *clusters*. Elle est uniquement utilisée pour filtrer les résultats à l'intérieur de ces derniers.

En ce qui concerne *ONiT Explorer*, la recherche par mot-clé et par image sont les seuls moyens d'entrer dans le corpus. Cela est problématique pour l'utilisateur qui n'est pas familier du corpus et qui n'a pas d'image à comparer. Il s'agit d'un véritable frein pour l'exploration du corpus. Néanmoins, la visualisation des résultats sous la forme d'une mosaïque peut tout de même provoquer la sérendipité si l'utilisateur découvre par hasard une nouvelle image importante pour ses recherches.

*iArt* utilise uniquement une barre de recherche pour l'accès dans son corpus. Cependant, une fonctionnalité *Random Search* permettant de réaliser une recherche aléatoire a été ajoutée à la plateforme. Les images affichées ont une cohérence entre elles. Il est possible de les réunir en *clusters* en utilisant la fonctionnalité *Use 2D Canvas view*. Le sentiment de surprise provoqué par chaque nouvelle recherche est un véritable atout autant pour les *casual users* qui découvrent de nouvelles thématiques que pour les *experts* qui pourraient y puiser des nouvelles idées de projets.

L'usage de *tags* joue également un rôle important dans la recherche de contenu. Il s'agit de mots clés désignant des métadonnées qui permettent de relier différents objets entre-eux. Lorsque nous cliquons sur un *tag*, toutes les images le possédant s'affichent. Par exemple, si nous utilisons le tag « chat », toutes les images de la base de données représentant ou ayant un lien avec un chat vont s'afficher.

### L'interopérabilité

L'interopérabilité des images dans ce type de projet est un paramètre important à prendre en compte. Sur ces interfaces, il y a de nombreux renvois vers le site de l'institution de conservation lorsque nous consultons un objet. Le standard IIIF permet la réutilisation des images numérisées par les institutions dans ce type de projet. Il est notamment utilisé dans le projet *Visual Contagion* et dans la plateforme *ONiT Explorer*. Cependant, son usage n'est pas systématique. Le projet *iArt* n'utilise pas ce standard, ce qui peut vite devenir problématique lorsque nous voulons exporter une image en haute résolution.

---

25. M. Kemman, M. Kleppe et S. Scagliola, *Just Google It - Digital Research Practices of Humanities Scholars...*

26. M. Whitelaw, « Generous Interfaces for Digital Cultural Collections »...

### La conservation de l'historique

Pour finir, Shneiderman<sup>27</sup> conseillait d'intégrer à son interface un moyen de conserver l'historique de l'utilisateur pour ses prochaines visites. Ce critère n'est rempli que par *iArt* qui enregistre automatiquement un historique des recherches réalisées sans avoir besoin de créer un compte.

---

27. B. Shneiderman, « The Eyes Have It : A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations »...

## **Deuxième partie**

# **Méthodologie de conception des visualisations exploratoires**



# Chapitre 4

## La visualisation en histoire

### 4.1 Evolution des représentations visuelles en histoire

## **4.2 Visualisations de réseaux et étude des disséminations**

### **4.3 Enjeux critiques de la médiation numérique des données historiques**



# **Chapitre 5**

## **Formalisation des besoins et contraintes de conception**

### **5.1 Analyse des pratiques et questions des chercheurs EIDA**

## **5.2 Cahier des charges : objectifs scientifiques et contraintes techniques**

### **5.3 Choix méthodologiques : network graph et alignement des sources (bipartite)**



# Chapitre 6

## Processus itératif de développement

### 6.1 Prototypage et tests de faisabilité technique

## **6.2 Mise en oeuvre concrète : choix techniques et difficultés rencontrées**

### 6.3 Intégration des retours utilisateurs et ajustements



## **Troisième partie**

# **Evaluation critique et perspectives d'intégration**



# Chapitre 7

## Analyse des visualisations produites

### 7.1 Visualisation bipartite : révéler les réorganisations du contenu intellectuel

## **7.2 Network graph : explorer les chaînes de transmissions**

### **7.3 Adéquation aux objectifs d'exploration scientifique**



# **Chapitre 8**

## **Validation et limites méthodologiques**

### **8.1 Critères d'évaluation de l'efficacité exploratoire**

## **8.2 Retour d'expérience par les chercheurs**

### 8.3 Limites liées aux données et biais d'interprétation



# **Chapitre 9**

## **Perspectives d'évolution et généralisation**

### **9.1 Intégration dynamique à la plateforme AIKON**

## **9.2 Transférabilité vers d'autres corpus et projets**

### **9.3 Implications pour l'évolution des pratiques en humanités numériques**



# **Conclusion**



## **Annexes**



# Liste des acronymes

**api** *Application Programming Interface.* 14, 15, 27

**AIKON** A computer vision platform for historians. 13, 15, 18

**BERT** Bidirectional Encoder Representations from Transformers. 31

**BNF** Bibliothèque Nationale de France. 6, 25, 27

**DISHAS** Digital Information System for the History of Astral Science. 18, 23, 24

**EIDA** Editing and analysing hIstorical astronomical Diagrams with Artificial intelligence. 16–20, 23, 26

**GPU** Graphics Processing Unit. 14

**HTR** Handwritten Text Recognition. 13

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol. 27

**IIIF** International Image Interoperability Framework. 19, 26, 27, 35

**JSON** JavaScript Object Notation. 14, 15, 27

**LTE** Laboratoire Temps Espace. 17

**OCR** Optical Character Recognition. 13

**SQL** Structured Query Language. 19

**URL** Uniform Resource Locator. 27

**VHS** Computer vision and Historical analysis of Scientific illustration circulation.  
16–19

**XML** Extensible Markup Language. 27

**YOLO** You Only Look Once. 18



# Bibliographie

Accueil / ARCPA, <https://archives-parlementaires.persee.fr/>.

AIKON, *Aikon-Platform/Aikon*, juill. 2025.

ALBOUY (Ségolène), *Médiation des données de la recherche : Elaboration d'une plate-forme en ligne pour une base de tables astronomiques anciennes*, other, Paris, Ecole nationale des chartes, 2019.

ALBOUY (Ségolène), NORINDR (Jade), AOUINTI (Fouad), GROMETTO (Clara), CHAMPENOIS (Robin), LAZARIS (Stavros), GUILBAUD (Alexandre), HUSSON (Matthieu) et AUBRY (Mathieu), *AIKON : Computer Vision Platform for Digital Humanities*.

*ArtMiner*, <https://imagine.enpc.fr/~shenx/ArtMiner/>.

*Astronomy - Ancient Greece, Stars, Planets* / Britannica, <https://www.britannica.com/science/astronomy-Greece>, juin 2025.

CHARPIER (Marion) et BERMÈS (Emmanuelle), *Atelier : Initiation à IIIF*, BnF DataLab, juin 2024.

Conférence 2023 : *Towards the EIDA Corpus for the History of Astronomical Diagrams*, <https://eida.hypotheses.org/conferences/conference>, 2023.

Conférence 2024 : *Graphic Conventions, Visual Idioms, (Dis)Similarity in Astronomical Diagrams*, <https://eida.hypotheses.org/conferences/conference-2024>, 2024.

Conférence 2025 : *A Long History of Diagrammatization in the Astral Sciences*, <https://eida.hypotheses.org/conferences/conference-2025>, 2025.

*Corpus*, <https://vhs.hypotheses.org/corpus>.

COSTABEL (Pierre), « CLAUDE PTOLÉMÉE (90 Env.-Env. 168) », dans *Encyclopædia Universalis*.

D'ALENXADRIE (Théon), PTOLÉMÉE (Claude (0100?-0170?) Auteur du texte), FOURIER (Jean-Baptiste-Joseph (1768-1830) Auteur du texte) et IDELER (Christian Ludwig (1766-1846) Auteur du texte), *Commentaire de Théon d'Alexandrie sur le livre III de l'"Almageste" de Ptolémée. (Suivi des) Tables manuelles des mouvements des astres. Partie 2 / [Claude Ptolémée] ; trad... du grec... par M. l'abbé Halma,... 1822-1825.*

DÖRK (Marian), CARPENDALE (Sheelagh) et WILLIAMSON (Carey), « The Information Flaneur : A Fresh Look at Information Seeking », dans *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2011 (CHI '11), p. 1215-1224, DOI : 10.1145/1978942.1979124.

- EnHerit : Enhancing Heritage Image Databases – ANR JCJC Project 17-CE23-0008*,  
<https://enherit.enpc.fr/>.
- Epicycles de Ptolémée*, <https://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/>
- Europeana Data Model*, <https://pro.europeana.eu/page/edm-documentation>.
- EuropeanaTech 2015*, <https://pro.europeana.eu/event/europeanatech-2015>.
- FOUAD (AQUINTI), SONAT (BALTACI Zeynep), MATHIEU (AUBRY), ALEXANDRE (GUILBAUD) et STAVROS (LAZARIS), « Computer Vision and Historical Scientific Illustrations » (, 2023).
- GREENE (Stephan), MARCHIONINI (Gary), PLAISANT (Catherine) et SHNEIDERMAN (Ben), « Previews and Overviews in Digital Libraries : Designing Surrogates to Support Visual Information Seeking », 51–4 (2000), p. 380-393.
- GRIVEAU, *La visualisation des données au service de la découverbarilité du patrimoine*, mai 2025.
- HIGH VISION – Projet ANR*, juin 2025.
- Home*.
- Home @ Visual Contagions*, <https://visualcontagions.unige.ch/explore/>.
- Home/Accueil*.
- iART*, <https://www.iart.vision/>.
- IIIF - Documentation Biblissima+*, <https://doc.biblissima.fr/iiif/>.
- Innovating metadata aggregation in Europeana via linked data*, <https://pro.europeana.eu/post/innovating-metadata-aggregation-in-europeana-via-linked-data>.
- Issue 11 : Generous Interfaces*, <https://pro.europeana.eu/page/issue-11-generous-interfaces>.
- JACQUART (Danielle), « Des traductions au fil de la plume et à la chaîne ? Le cas de Gérard de Crémone », *Cahiers d'études hispaniques médiévales*, 41–1 (2018), p. 111-123, DOI : 10.3917/cehm.041.0111.
- JARDINE (Boris) et JARDINE (Nicholas), « Critical Editing of Early-Modern Astronomical Diagrams », *Journal for the History of Astronomy*, 41–3 (août 2010), p. 393-414, DOI : 10.1177/002182861004100307.
- JOCHER (Glenn), *YOLOv5 by Ultralytics*, mai 2020, DOI : 10.5281/zenodo.3908559.
- KALLELI (Syrine), TRIGG (Scott), ALBOUY (Ségolène), GESSNER (Samuel), HUSSON (Mathieu) et AUBRY (Mathieu), « Editing and Analysing Historical Astronomical Diagrams with Artificial Intelligence » (, 2023).
- *Historical Astronomical Diagrams Decomposition in Geometric Primitives*, mars 2024, DOI : 10.48550/arXiv.2403.08721, arXiv : 2403.08721 [cs].
- KAOUA (Ryad), SHEN (Xi), DURR (Alexandra), LAZARIS (Stavros), PICARD (David) et AUBRY (Mathieu), *Image Collation : Matching Illustrations in Manuscripts*, août 2021, DOI : 10.48550/arXiv.2108.08109, arXiv : 2108.08109 [cs].

- KEMMAN (Max), KLEPPE (Martijn) et SCAGLIOLA (Stef), *Just Google It - Digital Research Practices of Humanities Scholars*, avr. 2014, DOI : 10.48550/arXiv.1309.2434, arXiv : 1309.2434 [cs].
- LAY (Juliane), « L'abrégé de l'Almageste, Attribué à Averroès, Dans Sa Version Hébraïque. Étude de La 1ère Partie », *Annaires de l'École pratique des hautes études*, 103–99 (1990), p. 501-505, DOI : 10.3406/ephe.1990.14528.
- « Averroès : abrégé d'astronomie dans la version hébraïque de Jacob Anatoli », *Annaires de l'École pratique des hautes études*, 129–12 (1998), p. 267-268, DOI : 10.3406/ephe.1998.10769.
  - « Un Averroes hebraicus inédit : l'Abbrégé de l'Almageste », dans *Averroès et l'averroïsme : Un itinéraire historique du Haut Atlas à Paris et à Padoue*, dir. André Bazzana, Nicole Bériou et Pierre Guichard, Lyon, 2005 (Collection d'histoire et d'archéologie médiévales), p. 203-237, DOI : 10.4000/books.pul.19600.
- MALPANGOTTO (Michela), « Graphical Choices and Geometrical Thought in the Transmission of Theodosius' Spherics from Antiquity to the Renaissance », *Archive for History of Exact Sciences*, 64–1 (janv. 2010), p. 75-112, DOI : 10.1007/s00407-009-0054-1.
- MEYER (Jacques), « PAPPUS », dans *Encyclopædia Universalis*, 1999.  
*Mirador — Home*, <https://projectmirador.org/>.
- NORINDR (Jade), *Le traitement des sources historiques par la vision artificielle : l'exemple des manuscrits d'astronomie de tradition ptoléméenne*, other, Paris, Ecole nationale des chartes, 2023, p. 152.
- ONiT Explorer*, <https://labs.onb.ac.at/en/tool/onit-explorer/>.
- Penser la découvrabilité des contenus culturels*, <https://www.bnf.fr/fr/agenda/penser-la-decouvrabilite-des-contenus-culturels>, juin 2023.
- POULIQUEN (Marc Le), *Using Lattices for Reconstructing Stemma. Presentation*, <https://vhs.hypotheses.org/presentation>.
- PTOLEMAEUS (Claudius (0100 ?-0170 ?) Auteur du texte), TRADUCTEUR (Gerardus Cremonensis (1114-1187)) et ENLUMINEUR (Maître de l'Almageste (ou Maître du Ptolémée de la Sorbonne)), *Ptolomeus, Almagestum, Transl. a Gerardo Cremonense*, 1213.
- Qu'est-ce que l'apprentissage auto-supervisé ? / IBM*, <https://www.ibm.com/fr-fr/think/topics/self-supervised-learning>, déc. 2023.
- RAYMOND JONES (Alexander), « Ptolemy | Accomplishments, Biography, & Facts | Britannica », dans *Encyclopædia Britannica*, 2025.
- RAYNAUD (Dominique), « Building the Stemma Codicum from Geometric Diagrams : A Treatise on Optics by Ibn al-Haytham as a Test Case », *Archive for History of Exact Sciences* (, mars 2014), DOI : 10.1007/s00407-013-0134-0.

- SAITO (Ken), « Traditions of the Diagram, Tradition of the Text : A Case Study », *Synthese*, 186–1 (2012), p. 7-20, JSTOR : 41494921.
- Sérendipité : quand l'heureux hasard rencontre les algorithmes*, mars 2025.
- Sérendipité / Académie Française*, <https://www.academie-francaise.fr/serendipite>.
- SHEN (Xi), EFROS (Alexei A.) et AUBRY (Mathieu), *Discovering Visual Patterns in Art Collections with Spatially-consistent Feature Learning*, mars 2019, DOI : 10.48550/arXiv.1903.02678, arXiv : 1903.02678 [cs].
- SHEN (Xi), EFROS (Alexei A.), JOULIN (Armand) et AUBRY (Mathieu), *Learning Co-segmentation by Segment Swapping for Retrieval and Discovery*, mars 2022, DOI : 10.48550/arXiv.2110.15904, arXiv : 2110.15904 [cs].
- SHNEIDERMAN (Ben), « The Eyes Have It : A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations » ().
- TASSY (Pascal), « CLADISTIQUE », dans *Encyclopædia Universalis*, 2012.
- TEXTE (MUHAMMAD ibn Muhammed al-Tūsī (Naṣīr al-Dīn Abū Ḥaḍīd) Auteur du) et TEXTE (PTOLÉMÉE Auteur du), » *Remaniement de l'Almageste* », par Nasīr al-Dīn Muḥammad ibn Muhammed al-Tūsī. 1401-1500.
- TIHON (Anne), « Le Livre V Retrouvé Du Commentaire à l'Almageste de Théon d'Alexandrie », *L'Antiquité Classique*, 56–1 (1987), p. 201-218, DOI : 10.3406/antiq.1987.2208.
- Towards Generous Interfaces for Archival Collections - Mitchell Whitelaw*, <https://mtchl.net/towards-generous-interfaces-for-archival-collections/>.
- Traduction latine de l'Almageste de Ptolémée par Gérard de Crémone*, <https://essentiels.bnf.fr/fr/image/7ad3-47dc-96d3-82aaf7eaf2df-traduction-latine-lalmageste-ptolemee-par-gerard-cremone>.
- UNIVERSALIS, « MOHAMMAD NAṢĪR AL-DĪN AL TŪSĪ - (1201-1274) », dans *Encyclopædia Universalis*, 2008.
- VERDET (Jean-Pierre), « HÉLIOCENTRISME », dans *Encyclopædia Universalis*, 2008.
- VERDET (Jean-Pierre), « De l'aube de l'astronomie à l'aurore de l'astrophysique », dans *Une Histoire de l'astronomie*, Paris, 1990 (Points).
- WHITELAW (Mitchell), « Generous Interfaces for Digital Cultural Collections », *Digital Humanities Quarterly*, 009–1 (mai 2015).
- WINDHAGER (Florian), FEDERICO (Paolo), MAYR (Eva), SCHREDER (Günther) et SMUC (Michael), « A Review of Information Visualization Approaches and Interfaces to Digital Cultural Heritage Collections » ().
- « Visualization of Cultural Heritage Collection Data : State of the Art and Future Challenges », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25–6 (juin 2019), p. 2311-2330.

# Table des matières

Résumé	iii
Remerciements	v
Introduction	vii
<b>I Enjeux scientifiques et techniques de l'analyse automatisée des transmissions iconographiques</b>	<b>1</b>
<b>1 Les diagrammes astronomiques</b>	<b>3</b>
1.1 Un corpus idéal pour l'étude des transmissions . . . . .	3
1.2 L'iconographie témoin des diffusions intellectuelles . . . . .	6
1.2.1 Les différentes familles de diagrammes . . . . .	6
1.2.2 Construire le stemma codicum de l'œuvre à partir des diagrammes	7
1.3 Limites des approches philologiques traditionnelles . . . . .	8
1.3.1 Les différentes conventions de représentation d'un diagramme . . . . .	9
1.3.2 La modification des diagrammes dans les éditions modernes des sources scientifiques . . . . .	11
<b>2 AIKON et l'automatisation des traitements</b>	<b>13</b>
2.1 La plateforme AIKON . . . . .	13
2.1.1 L'application AIKON . . . . .	13
2.1.2 Le projet VHS . . . . .	16
2.1.3 Le projet EIDA . . . . .	17
2.2 Les fonctionnalités de computer vision dans AIKON . . . . .	18
2.2.1 L'extraction des regions . . . . .	18
2.2.2 La reconnaissance et le calcul de similarité . . . . .	18
2.3 Les interfaces existantes . . . . .	19
2.3.1 La constitution du corpus : gestion des sources numérisées . . . . .	19
2.3.2 L'extraction des regions . . . . .	20
2.3.3 La constitution de correspondances entre les regions . . . . .	22

<b>3 Vers la nécessité d'interfaces d'exploration</b>	<b>25</b>
3.1 Masse de données et limites de l'exploration manuelle . . . . .	25
3.1.1 La numérisation massive des collections visuelles . . . . .	25
3.1.2 L'hétérogénéité des objets visuels . . . . .	27
3.1.3 Les différents types d'utilisateurs . . . . .	28
3.2 De l'exploitation des données à l'interprétation scientifique . . . . .	29
3.2.1 La création d'interfaces généreuses . . . . .	29
3.2.2 La découverte par la sérendipité . . . . .	30
3.2.3 Le dépassement des capacités humaines . . . . .	31
3.3 Les besoins d'exploration du corpus . . . . .	31
3.3.1 Présentation des projets . . . . .	31
3.3.2 Analyse des interfaces . . . . .	32
<b>II Méthodologie de conception des visualisations exploratoires</b>	<b>37</b>
<b>4 La visualisation en histoire</b>	<b>39</b>
4.1 Evolution des représentations visuelles en histoire . . . . .	39
4.2 Visualisations de réseaux et étude des disséminations . . . . .	40
4.3 Enjeux critiques de la médiation numérique des données historiques . . . . .	41
<b>5 Formalisation des besoins et contraintes de conception</b>	<b>43</b>
5.1 Analyse des pratiques et questions des chercheurs EIDA . . . . .	43
5.2 Cahier des charges : objectifs scientifiques et contraintes techniques . . . . .	44
5.3 Choix méthodologiques : network graph et alignement des sources (bipartite)	45
<b>6 Processus itératif de développement</b>	<b>47</b>
6.1 Prototypage et tests de faisabilité technique . . . . .	47
6.2 Mise en oeuvre concrète : choix techniques et difficultés rencontrées . . . . .	48
6.3 Intégration des retours utilisateurs et ajustements . . . . .	49
<b>III Evaluation critique et perspectives d'intégration</b>	<b>51</b>
<b>7 Analyse des visualisations produites</b>	<b>53</b>
7.1 Visualisation bipartite : révéler les réorganisations du contenu intellectuel .	53
7.2 Network graph : explorer les chaînes de transmissions . . . . .	54
7.3 Adéquation aux objectifs d'exploration scientifique . . . . .	55

<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>77</b>
<b>8 Validation et limites méthodologiques</b>	<b>57</b>
8.1 Critères d'évaluation de l'efficacité exploratoire . . . . .	57
8.2 Retour d'expérience par les chercheurs . . . . .	58
8.3 Limites liées aux données et biais d'interprétation . . . . .	59
<b>9 Perspectives d'évolution et généralisation</b>	<b>61</b>
9.1 Intégration dynamique à la plateforme AIKON . . . . .	61
9.2 Transférabilité vers d'autres corpus et projets . . . . .	62
9.3 Implications pour l'évolution des pratiques en humanités numériques . . . . .	63
<b>Conclusion</b>	<b>65</b>
<b>Annexes</b>	<b>69</b>
<b>Acronymes</b>	<b>69</b>
<b>Table des matières</b>	<b>75</b>