



HAL
open science

Traiter intelligemment les cartes anciennes et comprendre l'histoire des territoires

Guillaume Bourgeois, Christine Plumejeaud-Perreau, Noël Richard, Thierry
Urruty

► To cite this version:

Guillaume Bourgeois, Christine Plumejeaud-Perreau, Noël Richard, Thierry Urruty. Traiter intelligemment les cartes anciennes et comprendre l'histoire des territoires. *Cartes & géomatique*, 2024, Le printemps des cartes à Montmorillon - mai 2023 (255), pp.19-48. <10.62437/cixz358cwvtgnjjlp-46087878>. <hal-05056468>

HAL Id: hal-05056468

<https://hal.science/hal-05056468v1>

Submitted on 5 May 2025

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No
Derivative Works - International License

TRAITER INTELLIGEMMENT LES CARTES ANCIENNES ET COMPRENDRE L'HISTOIRE DES TERRITOIRES

par *Guillaume Bourgeois*

*Maître de conférences en histoire contemporaine à l'Université de Poitiers, Criham
guillaume.bourgeois@univ-poitiers.fr*

Christine Plumejeaud

*Ingénieure de recherches CNRS, spécialiste des données spatio-temporelles
UMR 7301 Migrinter
christine.plumejeaud@univ-poitiers.fr*

Noël Richard et Thierry Urruty

*Maîtres de conférences en traitement de l'image à l'Université de Poitiers, Xlim
noel.richard@univ-poitiers.fr, thierry.urruty@univ-poitiers.fr*

Parmi les moments forts de la journée d'études organisée par L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine (AHNA) dans le cadre du Printemps des cartes 2023, nous présentons ceux concernant l'utilisation d'algorithmes intelligents afin d'unir données historiques et données géographiques issues des cartes anciennes pour une navigation transparente entre époques et territoires. Financé par plusieurs collectivités et par la région Nouvelle-Aquitaine et mis en œuvre par onze laboratoires d'historiens, de géographes et de techniciens du numérique, rattachés à cinq universités, l'AHNA est piloté par le Criham de l'Université de Poitiers.

Mots-clés : cartes anciennes, intelligence artificielle, géographie historique.

Among the highlights of the conference organized by the Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine (AHNA) as part of the Printemps des cartes 2023, we present the proceedings related to the use of intelligent algorithms aiming to unite historical data and geographical data extracted from ancient maps to boost transparent navigation between historical epochs and territories. Funded by several local authorities and by the Nouvelle-Aquitaine region and implemented by eleven laboratories of historians, geographers, and digital technicians, from five universities, the AHNA is managed by the Criham of the University of Poitiers.

Keywords: ancient maps, artificial intelligence, historical geography.

Propos liminaires

Thierry Urruty. Avec Noël Richard, nous représentons l'équipe Icône de Xlim dédiée à la chaîne de traitement de l'image, de l'acquisition des données jusqu'au contrôle de la qualité, en passant par leur interprétation à l'aide de lourds algorithmes capables d'apprentissage. Il ne s'agit pas de notre première collaboration avec des chercheurs intéressés par les documents anciens ; nous avons en particulier collaboré avec le Centre d'études supérieures de civilisation médiévale autour du traitement des documents anciens ou à des applications plus diversifiées, concernant la reconnaissance des églises romanes, des colonnes, des symboles que l'on retrouve à travers les peintures ou tout objet relevant de ce moment de l'architecture. Dans le cas présent,

avec l'AHNA, nous nous intéressons à la détection de symboles dans les cartes anciennes, des symboles manuscrits, avec pour objectif que les algorithmes intègrent dans la boucle l'expert, que le savant corrige et joue avec les propositions qui lui sont faites pour améliorer l'ensemble du modèle afin de le rendre applicable au plus grand nombre de cartes possibles.

Guillaume Bourgeois. Le regard, on pourrait même dire l'impression, l'émotion, suscitée par une carte n'est pas la même suivant les codes dans lesquels elle est représentée. On n'a pas la même relation au territoire selon que l'on scrute une carte d'État-Major du XIX^e siècle, une carte IGN d'aujourd'hui ou bien celle d'un grand cartographe du XVIII^e siècle comme Claude Masse. Afin d'unifier l'AHNA, nous récoltons les informations contenues dans les cartes anciennes,

souvent représentées sous la forme de symboles, et nous les reportons sur une carte numérique moderne, au nom de l'idée que cette sémiologie de notre temps est plus efficace et plus lisible... Fondre en un même support toutes les époques cartographiées, et même, potentiellement, celles qui ne l'ont pas été, en réunissant les données archéologiques, représente l'enjeu principal pour le développement de notre plateforme. Cela va de pair avec d'autres chantiers concernant le repérage, avant même la collecte, des cartes anciennes, leur catalogage et leur numérisation, un travail accompli avec plusieurs grandes médiathèques de cette immense région allant de la Loire jusqu'aux Pyrénées, un magnifique terrain d'études en termes d'ambitions géographiques

Christine Plumejeaud. Penser à l'élaboration d'une telle machine n'est pas une nouveauté, si l'on se réfère aux projets *Venice Time Machine* de Frédéric Kaplan ou à *Paris Time Machine*. Nous cherchons à éviter de réinventer le fil à couper le beurre ou bien la roue : c'est une tendance naturelle de partir avec enthousiasme sur des projets similaires, sans souvent bénéficier de ce qui a été imaginé ailleurs. Affectée récemment au laboratoire Migrinter, j'avais réalisé mon post-doctorat au sein de l'ANR Géo-peuple consacrée aux cartes anciennes de Cassini et d'État-Major et à leur vectorisation en vue d'une analyse spatiale géographique diachronique. Je tente donc de faire profiter l'équipe de l'AHNA des connaissances accumulées et de l'état de l'art en la matière afin de proposer des choses nouvelles sur cette déjà vieille idée ô combien stimulante. Cette journée d'étude se veut un lieu de confrontation et d'échanges sur les différentes expériences, afin d'apprendre à mieux nous connaître et unir nos forces pour la réalisation de cet ambitieux projet.

Nicolas Jacob présente un aperçu des cartes topographiques de Nouvelle-Aquitaine du XVIII^e au XXI^e siècle

Nicolas Jacob, commissaire en chef des armées (ER), a dirigé pendant de nombreuses années le Centre des archives de l'armement de Châtelleraut, dépendant du Service historique de la Défense. Docteur en géographie et spécialiste reconnu des générations successives de cartes topographiques, il présente ici leurs usages pour la reconstitution des territoires anciens.

Les cartes topographiques assurent une représentation détaillée et scientifique du territoire autorisant la réalisation d'études de géographie historique sur l'occupation des sols, l'extension

urbaine, autant que sur les lieux de pouvoirs et la structure sociale de chaque époque. Pour qui entre dans leur univers, ces cartes anciennes offrent aussi une certaine poésie de la représentation des territoires par des jeux de symboles, de textures et de couleurs qui leur donnent une dimension artistique, au-delà d'un cadre de présentation jugé parfois austère. En tous cas, elles aident à la compréhension du monde et du temps. Par-delà l'histoire technique et administrative de ces cartes, déjà bien étudiée, il est utile d'aborder leur contenu propre et leurs capacités à restituer les paysages et territoires. Après une présentation des caractéristiques de différentes séries de cartes choisies pour leurs qualités topographiques et représentatives des XVIII^e, XIX^e, XX^e et XXI^e siècles, il sera utile dans la perspective du projet d'*Atlas historique de Nouvelle-Aquitaine* d'explorer les possibilités de restitutions des paysages et structures territoriales anciennes à partir de ces cartes.

Les cartes de Claude Masse

Les frères Masse ont servi le roi et cartographié au début du XVIII^e siècle les frontières du Nord mais aussi les côtes de Vendée, de Saintonge, du Médoc et du Pays basque. Pour les côtes du Sud-Ouest levées entre 1696 et 1721, l'échelle est de 1:28 800, soit trois fois celle de Cassini. Les cartes sont levées en couleur et manuscrites. Il n'y a pas de publication gravée de ces séries. La facture en est très détaillée. Tous les objets géographiques sont en projection horizontale, à la manière des cartes topographiques du XX^e siècle. Les couleurs et la rédaction aquarellée donnent une représentation des paysages particulièrement élégante et artistique. L'échelle permet des détails à la manière du 1:25 000 de l'époque contemporaine. Toutes les habitations sont reproduites, ainsi que les jardins et vergers attenants, les canaux, les vignes et bien sûr les bois. Le littoral est soigné et on peut y observer les anciens terrains susceptibles d'être submergés. Cependant, la carte offre peu de renseignements sur les fonctions des bâtiments (châteaux, moulins...) ; on peut les retrouver grâce aux cartes plus récentes et à leur place sur le terrain (fig. 1).

La facture de la carte est d'une grande précision et donne quantité de détails topographiques et planimétriques : formes des marais, des marais salants, des vasières, des dunes, du trait de côte il y a trois siècles. Les villages sont représentés en projection horizontale et détaillés par habitations ; les jardins, vergers sont représentés. Seul le relief sous forme de talus dessinés en ombrages est plus sommaire mais relativement suffisant dans ces plats pays côtiers.

La carte des frontières d'Espagne

Vers 1720, les ingénieurs Roussel et La Blottière lèvent des cartes des Pyrénées à plusieurs échelles. L'une d'elles est particulièrement pertinente : la carte des frontières d'Espagne et de France donnant toute la chaîne des Pyrénées, depuis Perpignan jusqu'à Saint Sébastien au 1:110 000. À une échelle proche de celle de Cassini, cette carte présente principalement les routes et chemins traversant la chaîne mais également ceux qui relient les vallées. Ces renseignements permettent de reconstituer les anciens tracés, de part et d'autre des torrents notamment, et de retrouver les points de passage et ponts anciens en les comparant aux chemins et sentiers existant encore dont les cartes conservent le souvenir. Les localités sont mentionnées mais les lieux-dits, sauf en montagne, sont plus succincts. Le relief est représenté en perspective par des ombrages aquarellés. Des sommets sont mentionnés (fig. 2).

La carte de Cassini

La carte de France de l'académie dite « carte de Cassini » a été élaborée entre 1749 et 1790 pour l'ensemble du territoire du Royaume de France. À cet égard, elle exclut les territoires de l'ancienne Savoie et du comté de Nice, rattachés en 1860. Cette carte est la première à couvrir le territoire d'un grand État à grande échelle, celle d'une ligne pour cent toises, soit 1:86 400 (il ne s'agit pas d'une échelle approximative car une toise est bien égale à 864 lignes). Pour la partie de la Nouvelle-Aquitaine, la carte de Cassini comprend 35 feuilles (no 31 à 36, 66 à 73, 99 à 108bis, 133 à 140), levées entre 1755 (Le Blanc) et 1786 (Roquefort). La publication des feuilles est achevée en 1789, à l'exception des feuilles des Landes publiées seulement en 1815. La Carte de Cassini offre une représentation géométrique du territoire, où chaque point marquant un clocher de paroisse a été calculé sur la base d'une triangulation se référant à un système de méridiennes et de parallèles de premier ordre. Les points forts de la carte sont le nombre important de villages, hameaux, fermes, moulins, abbayes – y compris avec une mention abrégée de l'ordre religieux les occupant – et châteaux indiqués, ce qui correspond bien au mode de vie et à l'exercice du pouvoir sous l'Ancien Régime. Les cours d'eau sont également bien détaillés, alors que le relief est plus sommaire, sous forme de talus hachurés entourant les vallons et vallées. Notamment, peu de sommets des Pyrénées ou du Limousin sont indiqués. La vie rurale est complétée par des indications de l'étendue des forêts, vignes, landes et brandes et marais, donnant une bonne idée de l'utilisation des sols au XVIII^e siècle. Les villes et bourgs, quoique représentés sommairement, montrent bien le réseau urbain de leur époque et des

lieux d'activités commerciales rattachés entre eux. Le réseau routier présente le tracé des routes principales avant que les travaux des intendants puis des Ponts-et-Chaussées ne viennent améliorer la viabilité et rectifier des routes (fig. 3).

On remarque particulièrement, sur cette figure 3, le réseau routier dont la future RN 10 de Paris à Hendaye, de nombreux lieux dits et même un parc de château ; ainsi que la forêt de Châtellerauld désormais domaniale et ses extensions disparues à l'est de la route.

La carte de la Guyenne par Belleyme

La carte de la Guyenne est levée entre 1762 et 1783, à la même époque que les travaux en vue de la carte de Cassini. Elle est publiée à la Restauration en 50 feuilles à l'échelle du 1:43 200, soit le double de celle de Cassini. Elle couvre la Gironde, la Dordogne, les Landes et le Lot-et-Garonne. Elle présente des caractères modernes comme les villes en projection horizontale, ainsi que certaines habitations, selon les endroits. Les lieux-dits, fermes et châteaux sont nombreux. L'étendue des forêts, landes et vignes est bien représentée pour notre région. Le tracé des routes et chemins est bien situé dans l'espace, ce qui permet des comparaisons aisées avec les cartes actuelles.

La carte d'État-Major

La carte de France dite « Carte d'État-Major » est l'œuvre majeure du XIX^e siècle. Elle couvre à nouveau l'ensemble du territoire à l'échelle du 1:80 000. Élaborée entre 1818 et 1880, elle comprend 53 feuilles pour la Nouvelle-Aquitaine et a été levée entre 1839 (Saumur) et 1854 (Tarbes). La géodésie a été entièrement refaite par les ingénieurs géographes et constitue le canevas de premier ordre sur lequel s'appuient ces levés. Le relief a fait l'objet de calculs de cotes d'altitude et d'un rendu du relief sous forme de hachures normalisées, aussi fidèle qu'il était possible avec les instruments de mesure des altitudes dont les opérateurs disposaient à l'époque. La carte est riche en lieux d'habitation avec toujours des mentions de fermes, moulins, châteaux, églises, écarts. Les voies de communication sont bien détaillées, avec les routes principales, secondaires, des chemins ruraux qui, au fil des éditions successives, se transforment en petites routes. La végétation est sous forme de forêts, prés, vignes, mais elle est parfois difficile à lire sur le fond des hachures. Les parcs et jardins sont délimités autour des propriétés. L'industrie naissante en pleine révolution industrielle commence à être mentionnée, souvent au fur et à mesure des révisions, lorsqu'elles sont complètes. Le réseau hydrographique est bien



Figure 1 : Carte des côtes de Saintonge par Claude Masse ; partie de l'Isle d'Oléron, 1706.

développé. Les chemins de fer naissants sont tracés dans les premières éditions, au sud de Poitiers pour la ligne Paris-Bordeaux puis au sud de la Garonne pour des publications plus tardives. Quelques feuilles ne comportent aucun chemin de fer à l'origine, sur la côte ou encore en Limousin, en Dordogne ou sur la chaîne des Pyrénées (fig. 4).

Sur cette édition, le chemin de fer de Bordeaux n'est pas encore construit et la vallée du Clain apparaît encore quasiment comme sous l'Ancien Régime, avec peu de différences avec les paysages du temps de Cassini, mais bien plus de détails et des contours plus aboutis.

Les levés au 1:40 000 sont des pièces manuscrites en couleurs qui sont numérisées par l'IGN et disponibles sur *Géoportail*.

Quelques villes ont fait l'objet de plans au 1:20 000 : Poitiers, Niort, La Rochelle, Angoulême, Limoges. Ces plans ont été gravés et publiés en petits formats. Ils détaillent des environnements urbains dans leur configuration de l'époque romantique, où l'église est très présente et les industries encore rares ; on imagine facilement les faubourgs peuplés et les demeures cossues des cœurs de villes (fig. 5).

La préfecture de la Vienne, ancienne ville des comtes de Poitou dans sa configuration d'avant la révolution industrielle et l'extension urbaine ; un centre ancien étendu mais peu dense en habitations avec de nombreuses cours et des jardins ; quelques faubourgs et des noms de lieux dits « campagnards », qui désignent des quartiers aujourd'hui urbanisés.

Les cartes gravées, comme les levés en couleurs, sont d'excellentes bases pour restituer les paysages du début du XIX^e siècle, avant que n'interviennent les effets de la révolution industrielle au fur et à mesure des révisions. Les feuilles ne sont pas toujours faciles à dater – entre 1832 et 1889 – car les dates de révisions et de nouvelles publications ne sont pas toujours mentionnées. Il faut donc se référer à d'autres indices, comme la présence de voies ferrées, la date d'impression, la technique d'impression, le prix mentionné pour dater plus précisément la feuille consultée.

La nouvelle carte de France

À la fin du XIX^e siècle, la carte d'État-Major est déjà obsolète. Difficile à mettre à jour, manquant de précision dans sa représentation du relief, elle paraît en retard par rapport aux cartes allemandes, suisses ou même italiennes, publiées à plus grande échelle, en couleurs et surtout avec le relief représenté par

des courbes de niveau. Celles-ci sont plus discrètes que les hachures, plus géométriques car marquant des constantes d'altitude, en montagne comme en plaine, et faciles à modifier lors des mises à jour. Elles correspondent de plus aux exigences des artilleurs dont les pièces ont une portée qui est passée de 300 à 3 000 m en 1870, puis à 8 000 m en fin de siècle. Les premiers levés sont ceux des officiers du génie au 1:10 000 ou 1:20 000 entre 1880 et 1910 ; pour la Nouvelle-Aquitaine, ils concernent la vallée d'Aspe et la place de Bayonne et ses environs, soit le Labourd. Ces levés sont complétés par les environs de Poitiers, Limoges et Saint-Maixent dans les années 1920. Ils sont publiés à partir de 1910.

La carte de France de troisième génération au 1:50 000 commence à être publiée en couleurs et en courbes de niveau à partir de 1900, uniquement dans les régions frontalières de l'Est et autour de Paris, jusqu'en 1945. Dans les années 1950, les levés reprennent au 1:25 000. Ils concernent en priorité – dans notre région – la Vienne, les Charentes, la Gironde, le Lot-et-Garonne, ainsi que les Pyrénées. Les publications de ce qui s'appelle « le type 1922 au 1:25 000 » offrent la facture la plus détaillée qu'il ait été donné à voir de toute l'histoire des cartes de France. Y sont représentées les habitations individuellement, de même que les jardins et les murets ; les clôtures, points d'eau, vignes, vergers, houblonnières, toutes les routes et chemins ; les couverts forestiers ont des contours détaillés, ainsi que les landes et broussailles. Le relief est particulièrement soigné avec des courbes équidistantes de 10 m en montagne et de 5 m en plaine, et du rocher à l'effet (fig. 8).

Il s'agit d'une des dernières feuilles publiées entre 1978 et 1980 lors de l'achèvement de la première Carte de France au 1:25 000 ; jusqu'à cette époque, on devait utiliser les feuilles agrandies au 1:50 000 de la carte d'État-Major. Cependant, les travaux avançant trop lentement, l'IGN décide en 1964 de publier des levés simplifiés qui ne soient pas plus détaillés que le 1:50 000. Ce type simplifié concerne le sud de la Vienne, le Limousin, la Dordogne et les Landes. Les détails du paysage sont escamotés, les habitations généralisées, les centres urbains représentés par de larges aplats grisés. Plus de trace des points d'eau, clôtures ou jardins. Ce type simplifié est remplacé par le « type 1972 », plus fin, et la couverture du territoire au 1:25 000 comme au 1:50 000 est achevée en 1980. Puis, à partir de 1990, les données topographiques sont numérisées. Une quatrième carte de France voit le jour, le « type 2010 » au 1:25 000 – le 1:50 000 est abandonné – couvrant pour la première fois l'ensemble de la France avec les mêmes spécifications, la même légende et la même facture de rédaction. C'est cette



Figure 2 : Carte des frontières d'Espagne et de France par Roussel et La Blottière au 1:110 000, vers 1720 ; extrait de la feuille 3.



Figure 4 : Carte de France dite « Carte d'État-Major, 1:80 000 ; feuille 132 : Châtellerault 1848.

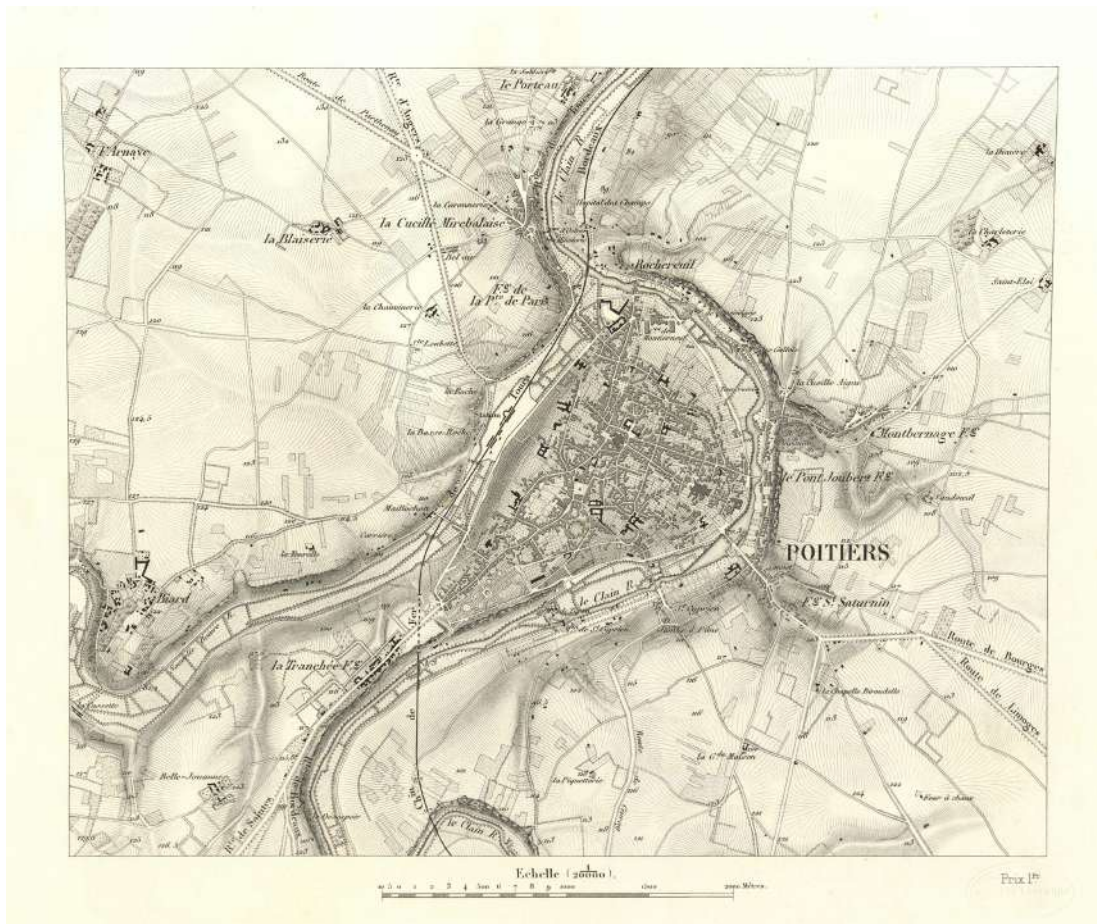


Figure 5 : Plan de ville au 1:20 000 ; feuille Poitiers.

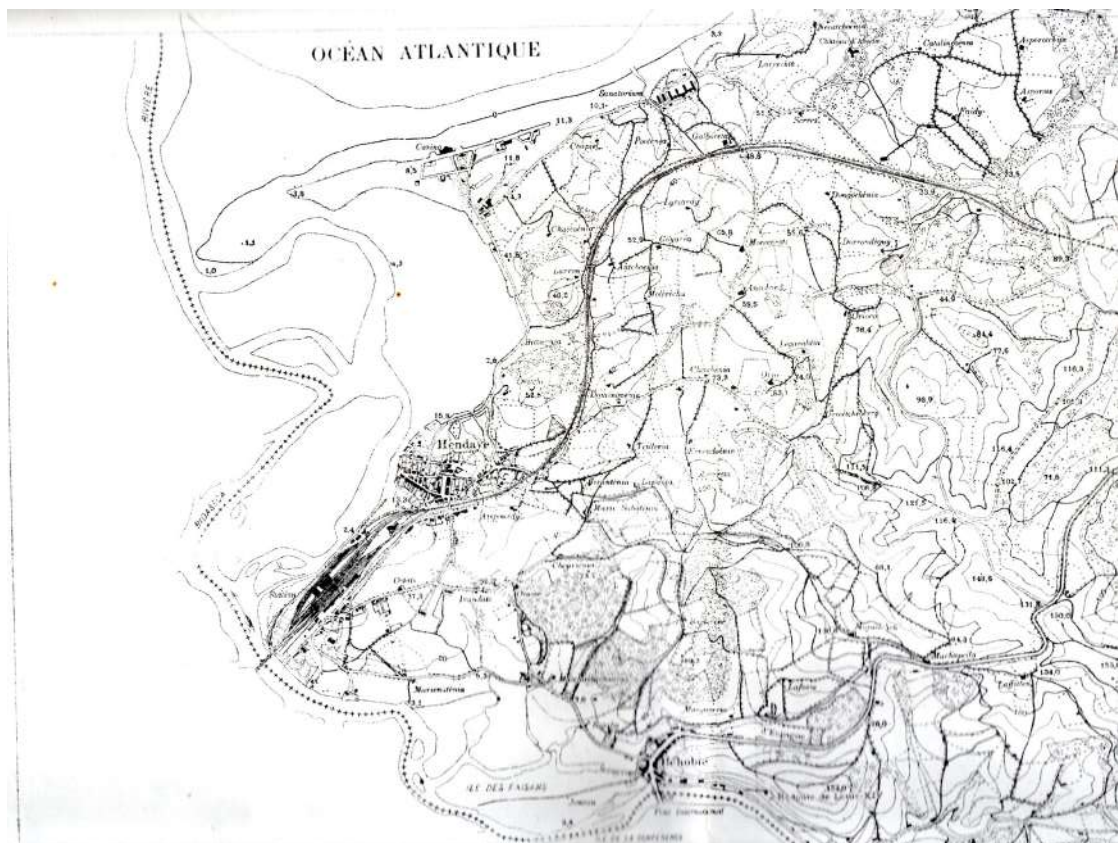


Figure 6 : Levés pour la nouvelle Carte de France 1:20 000 ; feuille Espelette 1 ; 1897-1901.



Figure 7 : Nouvelle Carte de France 1:50 000 ; feuille Bayonne ; 1938-47-58.

435 436 437 438 439 440 441 442

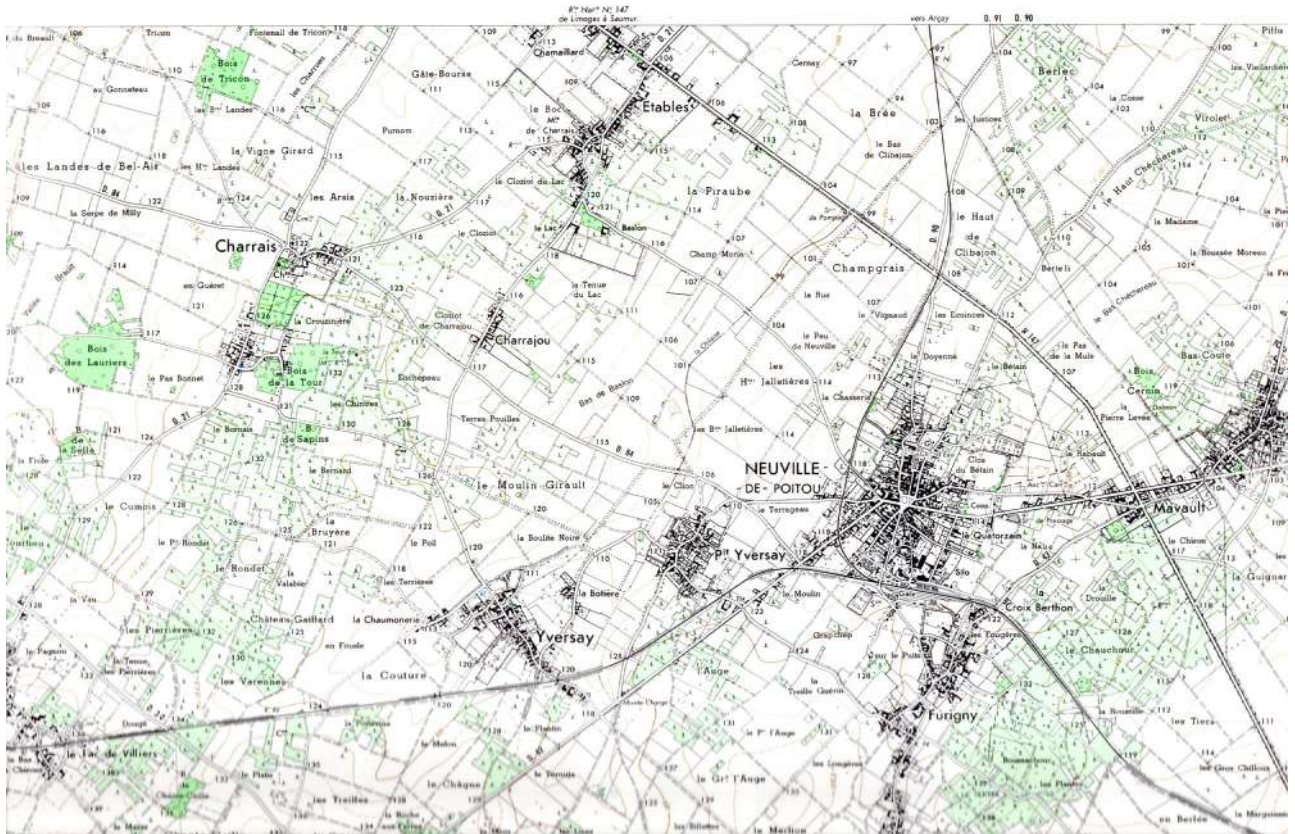


Figure 8 : Carte de France au 1:25 000, type 1922 ; feuille Mirebeau-en-Poitou 7-8, 1961.

carte qui est actuellement disponible sur *Géoportail* et en édition papier. Même si elle ne présente pas tous les détails de planimétrie du « type 1922 », elle propose une représentation fine du territoire, avec les indications de la vocation des constructions, administratives, commerciales ou industrielles. Ces cartes anciennes et actuelles peuvent servir de base à des reconstitutions cartographiques saisissantes et riches sous formes de paysages anciens restitués dans le cadre des rédactions de cartes actuelles.

Quelques exemples de restitutions

Il s'agit d'utiliser les cartes anciennes de manière à les traduire en cartes selon la rédaction des cartes IGN actuelles, en utilisant notamment les contours et les courbes de niveau de la carte actuelle, mais revus grâce au tracé figurant sur les cartes anciennes. Ce travail nécessite un aller-retour constant entre le document ancien et actuel. Néanmoins, il est possible de déduire des constantes de méthode pouvant être automatisées, sans tomber dans des approximations trop flagrantes.

Restitution des dunes de Saint-Trojan d'après la carte des Côtes de Saintonge par Claude Masse au 1:28 800

La carte de Claude Masse de 1723 permet de s'imaginer le paysage il y a 300 ans. Pour tracer la carte sur base IGN, il faut s'aider des points caractéristiques comme le centre ancien de Saint-Trojan, le marais de Bry, ou encore les palissades de protection mentionnées sur les cartes IGN. Le tracé de côte est plus à l'est que sur la carte IGN ; les dunes ne sont absolument pas boisées sauf à proximité immédiate du village ; les marais salants servant désormais de parcs à huîtres sont encore largement visibles de nos jours (fig. 10).

Restitution d'un paysage de vignes d'après la carte de Guyenne par Belleyme au 1:43 200

Les environs de Coutras, un lieu actuellement saturé d'emprises routières, sont à la fin du XVIII^e siècle un coteau de vignes du Bordelais. La carte de Guyenne au 1:43 200 est restituée sous forme de carte IGN au 1:25 000. Le tracé des routes anciennes et les lieux-dits servent de repères ; les vignes ont une extension légèrement différente sur la carte de Belleyme. Le chemin ancien dont la carte actuelle conserve les vestiges sous formes de chemins est reconstitué (fig. 11, 12 et 13).

Restitution des faubourgs ouest de Châtellerauld

Les levés pour la Carte d'État-Major en couleurs et en hachures sont précieux par leur précision et leur caractère scientifique pour reconstituer des paysages d'avant la révolution industrielle et les grands travaux ferroviaires et routiers des XIX^e et XX^e siècles. Ils illustrent une société encore très traditionnelle, agricole et artisanale où les centres-villes et les faubourgs attenants concentrent les populations urbaines, avant la construction des grandes fabriques et les lotissements d'habitation. Les moulins et forges ont toute leur place dans une économie encore tournée largement vers la subsistance. Seule la première manufacture d'armes de Châtellerauld, qui fabriquait essentiellement des armes blanches, est ici déjà installée (depuis 1819) (fig. 14).

Lysandre Hillairaud décrit un processus de traitement des symboles ponctuels appliqué à la carte de Cassini et aux autres cartes anciennes

Lysandre Hillairaud est étudiant en 2^e année au sein du master « Traitement du signal et des images » à l'Université de Poitiers. Il effectue des recherches consacrées à la détection de symboles ponctuels au sein des cartes de Cassini dans le cadre du laboratoire Xlim (équipe ICONES dirigée par Noël Richard), en collaboration avec L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine.

De la carte de Cassini (180 feuilles établies sur plus de six décennies), trois types d'informations symboliques peuvent être extraites. Il y a tout d'abord les symboles ponctuels représentant les hameaux, les paroisses, châteaux, moulins, etc. Il y a ensuite les informations linéaires pour les chemins, routes et fleuves. Enfin, il y a les informations surfaciques : forêts, vignes, champs et, sur certaines cartes, le littoral avec la plage, la mer, et parfois des marais... L'IGN atteste que les cartes de Cassini contiennent 33 classes de symboles. Les villes et les bourgs inclus dans cette légende sont surfaciques, étant de géométries et de tailles variables. Quant aux symboles ponctuels, ils offrent d'autant plus de diversité d'apparence que différents cartographes les ont élaborés. Si l'on prend la carte de Toulouse et la carte de Bordeaux, les symboles paraissent relativement semblables, mais on ne peut pas dire que la légende soit toujours cohérente ; chaque fois, il faut un temps d'adaptation pour constater que les hameaux sont faits de cette façon-ci

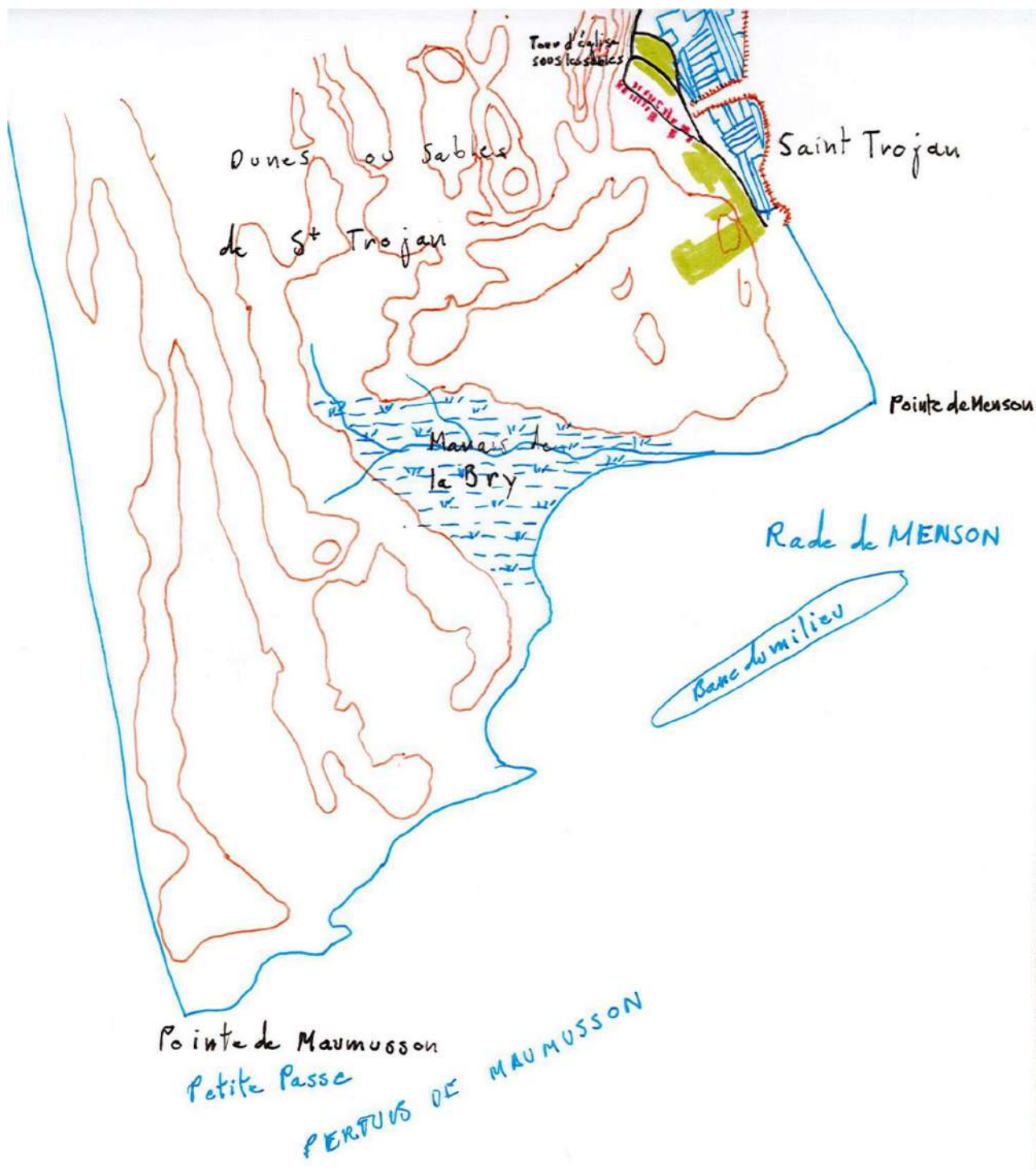


Figure 10 : Restitution de la carte de Masse à la manière de la Carte de France « type 2010 » au 1:25 000 ; partie sud de l'Île d'Oléron, actuelle forêt de Saint-Trojan.

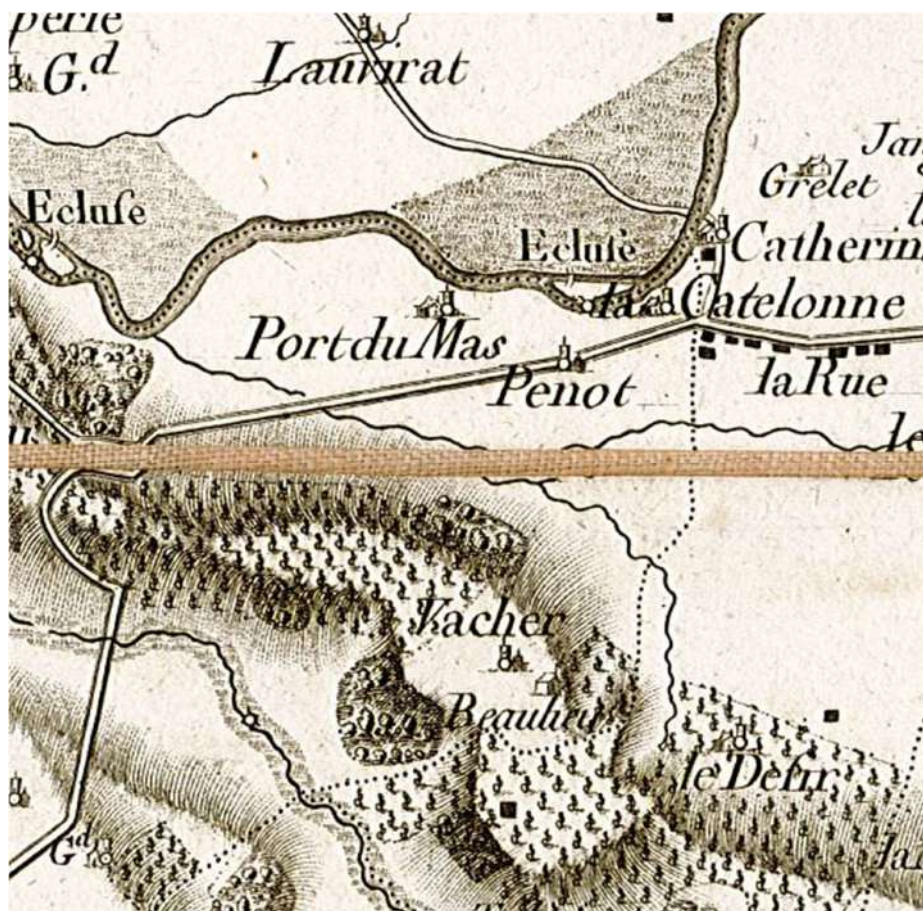


Figure 11 : Carte de Guyenne au 1:43 200 ; feuille 21 ; extrait.

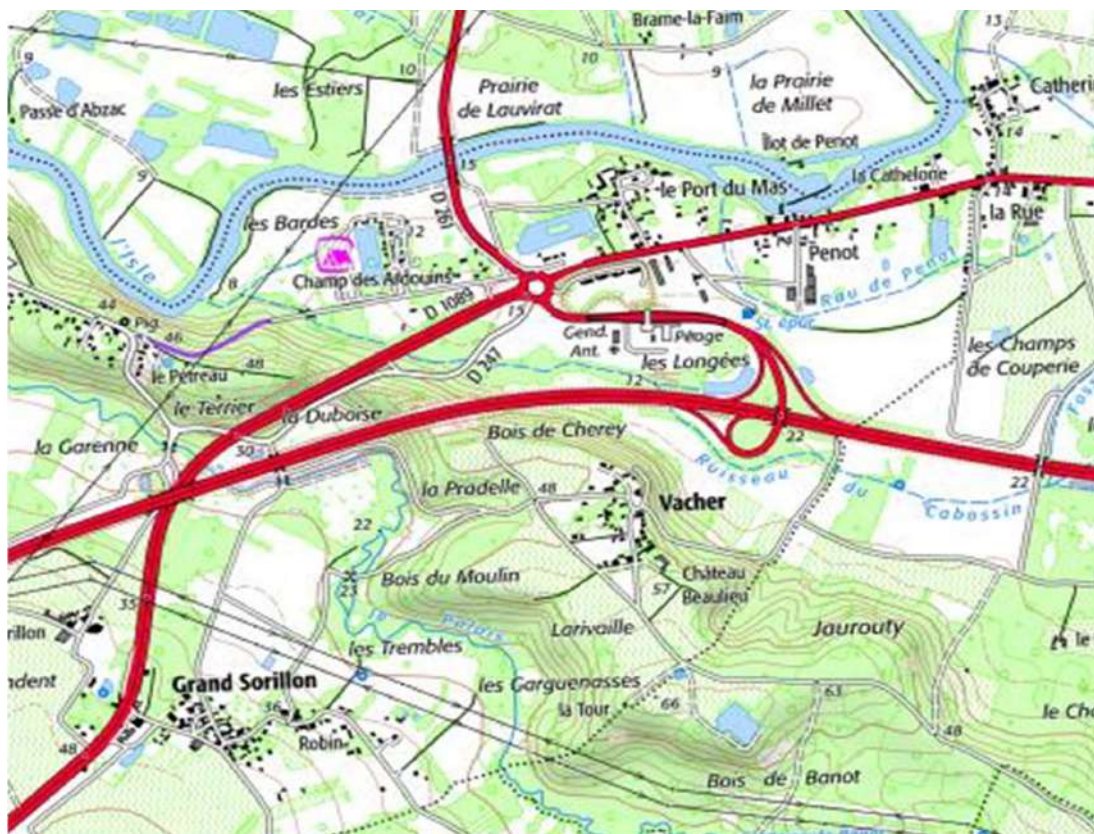


Figure 12 : Carte de France «type 2010» ; feuille Libourne ; extrait.

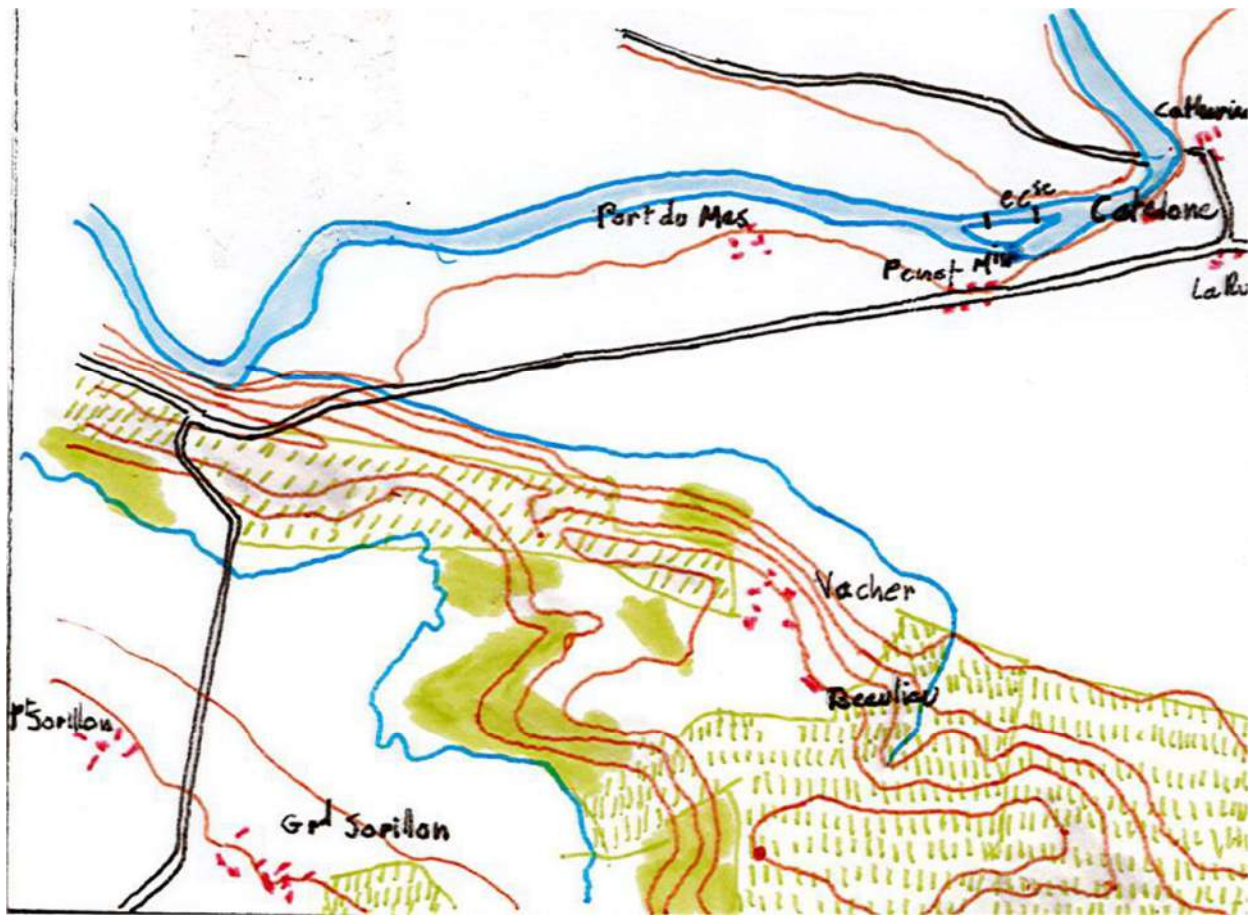


Figure 13 : Carte de restitution de la carte de Guyenne à la manière de la carte IGN au 1:25 000.

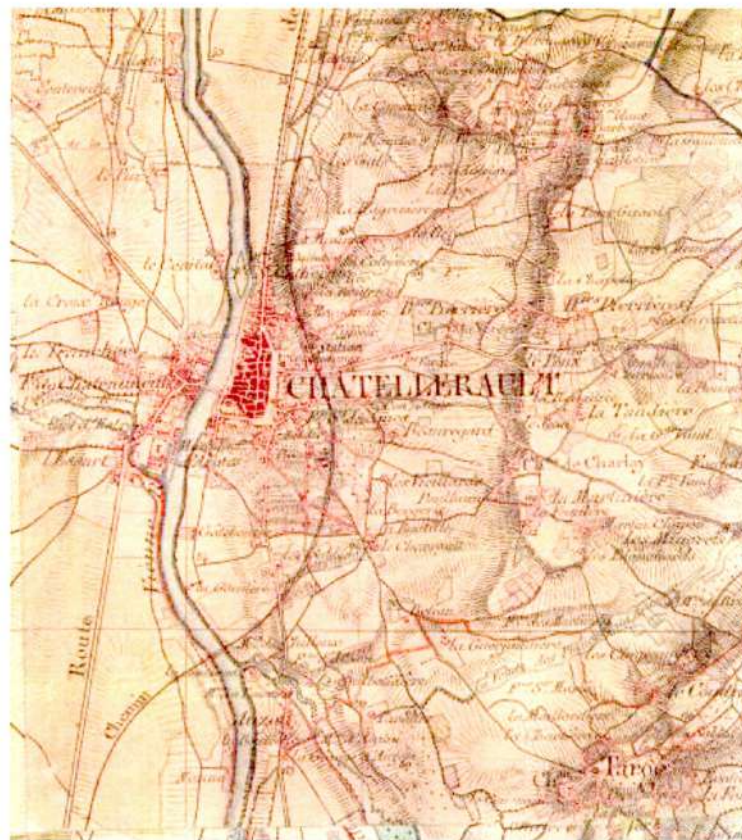


Figure 14 : Carte d'État-Major, levés au 1:40 000 ; feuille Châtellerault ; extrait.

ou de cette façon-là... La répartition des symboles est complètement inégale – due à la réalité physique du terrain où, forcément, il y a plus de hameaux que de châteaux – ce qui rend plus délicate la reconnaissance des classes sous-représentées.

Les symboles ponctuels se comptent par centaines sur chaque feuille ; ils sont assez difficiles à extraire, souvent mélangés avec le fond de carte, parfois entremêlés entre eux, mélangés aux écritures adjacentes... Ils sont également difficilement discernables car les cartes d'origine sont parfois abîmées ou mal numérisées. Les détecter de manière automatique ne représente pas une tâche triviale, surtout à la vue du volume de données représenté par lesdites cartes. Une fois de plus, le discernement des symboles est difficile, même pour des spécialistes.

Nous verrons que ces problèmes de représentation symbolique et de variation dans leur répartition représentent des difficultés pour automatiser la détection à l'aide de l'intelligence artificielle (IA) pour l'analyse d'images, particulièrement pour ce qui concerne les symboles ponctuels auxquels nous nous attacherons ici.

Un outil : les réseaux neuronaux

Nous utilisons pour ce faire ce que l'on appelle un « réseau de neurones ». On fournit à ce réseau une image annotée en entrée, sur laquelle on souhaite extraire une zone ou simplement faire du classement : dire que l'image représente un chat ou un chien par exemple. Une segmentation des images nous permet aussi de déterminer les positions des objets d'intérêt dans les images. Le réseau procède ensuite à différents calculs sur l'image, jusqu'à fournir une prédiction du résultat attendu. S'ensuit un calcul de la différence entre l'annotation qui a été fournie avec l'image et la prédiction faite par le réseau. On appelle le résultat de cette différence « l'erreur ». Cette dernière est ensuite utilisée pour réactualiser ce qui se passe dans le réseau de neurones ; c'est ce qu'on appelle la « rétropropagation ». Il s'agit de réactualiser les paramètres du réseau de neurones afin de minimiser l'erreur. Ce processus est répété sur plusieurs images, qui constituent le jeu de données d'entraînement, jusqu'à ce que des performances adéquates soient obtenues. Entraîner entièrement des réseaux de neurones est une tâche compliquée et coûteuse, puisque l'on parle de plusieurs millions de paramètres à affiner sur des réseaux qui ont des centaines de couches, avant d'avoir des performances intéressantes. Nous avons donc besoin de deux choses : une grande quantité de données et une importante puissance de calcul dont, en général, nous ne disposons pas dans nos

laboratoires publics. Il est toutefois possible d'utiliser des réseaux pré-entraînés par des industriels comme *Google, Microsoft, Facebook, etc.*

Pour notre application, il existe un jeu de données, le *COCO dataset*, constitué d'images annotées du quotidien (personnes, animaux, objets) dont les positions sont délimitées. Des réseaux de neurones de taille importante sont ensuite entraînés avec ce jeu de données de 80 classes. L'intérêt de ces jeux de données est multiple : il est facile de comparer les performances des différents réseaux de neurones et ils permettent d'entraîner des réseaux polyvalents. Il devient possible d'effectuer des « transferts d'apprentissage » avec ces derniers, suivant un principe simple : toutes les couches du réseau sont conservées telles quelles, et seules les dernières couches sont de nouveau entraînées avec un jeu de données correspondant à notre application. Cela permet de limiter à quelques milliers les paramètres à entraîner et, surtout, de ne pas avoir besoin de plusieurs millions d'images pour obtenir un résultat correct.

Un enjeu mondial : état de l'art

Un certain nombre de collègues à travers le monde se sont essayés à cette tâche de détection automatisée du contenu des cartes, et ce depuis plus d'une décennie. Plus récemment, en 2021, des géomaticiens hongrois, Vassanyi et Gede, ont appliqué ces techniques neuronales aux cartes austro-hongroises du XIX^e siècle. Ils ont mis en place un transfert d'apprentissage avec un réseau de détection d'objets du nom de *Mask Regional Convolutional Neural Network* (M-RCNN) et ils ont pour cela constitué un jeu de données de quelques centaines de cartes en limitant leur recherche à quatre symboles différents. Les résultats sont contrastés. Lorsque le réseau de neurones réussit à localiser les symboles, les résultats de classement sont bons. En revanche, il n'y a aucune détection sur 2 des 4 classes et la 3^e n'est détectée qu'à hauteur de 46 %. Ces problèmes de détection proviennent probablement d'un manque de données.

L'année suivante, en 2022, une équipe chinoise a utilisé sur des cartes chinoises modernes un autre type de réseau de neurones, la 3^e itération des réseaux *You Only Look Once* (YOLO). Les résultats sont excellents, bien que le protocole de test ne soit pas précisé : il n'y a pas, par exemple, de séparation entre les résultats de détection et de classement, ce qui fragilise grandement leur démonstration.

Même si certains types de réseaux prédominent à travers la littérature, il est nécessaire de comparer les

performances d'un plus grand nombre. Les réseaux privilégiés sont ceux qui fournissent les meilleures performances de détection et classification sur le *COCO dataset*, seul moyen d'étalonnage disponible pour comparer ces réseaux de neurones. On considère généralement que l'apprentissage d'un réseau sur ce genre de jeu de données permet de leur apprendre à extraire les caractéristiques basiques des images (formes, couleurs...) et qu'il est ensuite possible, *via* le transfert d'apprentissage, d'associer ces caractéristiques aux classes concernant notre application.

Précisons qu'il existe deux types de réseaux de neurones pour la détection d'objets : les approches par décomposition et les approches directes. Le fonctionnement des approches par décomposition est simple : ils détectent d'abord les régions d'intérêt et, ensuite, les classent. Les approches directes effectuent le processus complet d'un seul coup ; elles sont plus rapides mais en général moins précises. La vitesse importe peu pour l'analyse de cartes historiques, mais la taille d'entrée des images et la précision auront un impact sur la qualité des prédictions. Les approches par décomposition admettent en entrée des images de plus de 1000 par 1000 pixels, et comme évoqué plus haut, présentent des meilleurs résultats sur le *COCO dataset*.

Les choix techniques opérés en fonction de l'objet Cassini

Nous avons décidé d'utiliser *Mask-RCNN*, un détecteur d'objets par décomposition basé sur *Faster-RCNN*, ajoutant à la classification un masque binaire, comme son nom l'indique. Son fonctionnement est le suivant : après avoir déterminé les régions d'intérêt (ROI) avec un *Region Proposal Network* (RPN), le réseau effectue des classements dans chaque ROI ; il détermine une boîte englobante, la classe et le masque binaire, le tout calculé en parallèle. Dans notre cas, grâce à cette boîte à outils, le masque binaire nous permet d'analyser simultanément les symboles ponctuels mais aussi les aplats situés en arrière-plan.

L'entraînement du modèle sur la carte de Cassini et la création d'une interface homme-machine transposable sur d'autres types de cartes

Une fois le réseau choisi, il faut constituer un jeu de données qui sera utilisé pour l'entraînement, la validation et les tests. S'ensuit un travail long et fastidieux d'annotation de morceaux d'images

de 1024 par 1024 pixels. Les outils existants n'étant pas adaptés aux cartes historiques – annoter des cartes entières contraint à charger une image faisant 10 000 par 15 000 pixels – nous a obligé à créer une interface homme-machine facilement utilisable par des non-experts. Nous avons utilisé dans ce but *PyQt* et *pyqtgraph*, soit un seul langage de programmation, *Python* étant devenu la référence pour l'IA et l'analyse d'images.

Ouvrant l'interface, on sélectionne la carte à traiter et l'importation du fichier s'effectue en quelques secondes. On peut zoomer sur la carte et s'y déplacer. La notation elle-même consiste à sélectionner la classe de symboles et d'effectuer un clic droit au centre du symbole pour enregistrer sa position et sa classe, automatiquement. On peut ajouter du texte permettant l'extraction ultérieure d'entités nommées. Les annotations faites sont modifiables *via* un menu contextuel : on supprime, on renomme, on ajoute du texte *a posteriori*.

On peut encore déplacer les annotations faites automatiquement pour ajuster en se plaçant bien au centre du symbole. Le but poursuivi vise à rendre l'interface collaborative. Le travail d'un utilisateur non expérimenté peut nécessiter l'intervention d'un expert corrigeant facilement et pouvant sélectionner une classe afin de ne pas traiter symbole par symbole... Les données sont enregistrées sur un fichier *Json* chargeant automatiquement toutes les annotations. Ça permet de pouvoir s'arrêter de travailler, reprendre plus tard... Quand on annoté des cartes complètes, il faut compter plusieurs dizaines d'heures avant de parvenir à un résultat ; pouvoir s'arrêter et reprendre plus tard est un élément essentiel de confort.

Des campagnes d'annotation massives

Notre interface a été utilisée en février et mars 2023 pour annoter des *patches* (morceaux de cartes) de 1024 par 1024 pixels. Le nerf de la guerre, en intelligence artificielle, c'est la quantité de données : l'élaboration d'un jeu de données exige donc un travail collaboratif. En tout, 372 *patches* de 1024 par 1024 ont été annotés par mes collègues de master et autres étudiants de Xlim, des non-experts, soit quasiment 10 000 symboles. Les résultats de la campagne d'annotation confirment la répartition inégale des classes de symboles. En effet, 75 % des symboles appartiennent exclusivement à 2 classes : les maisons et les hameaux. 93 % des symboles annotés représentent 8 classes seulement. Enfin, 25 classes de symboles représentent moins de 3 % des annotations. À noter que les *patches* ont été extraits de

manière aléatoire sur 30 feuilles Cassini, aux quatre coins de la France, afin d'être sûr de sélectionner des cartographes différents et des années d'édition différentes. Ces problèmes d'inégalités entre les classes conduiront forcément à des difficultés de classement. Il est cependant primordial de considérer les symboles rares, en ce qu'ils peuvent avoir plus d'importance historique que des fermes banales. En plus de classer en quantité, il est aussi très important de conserver la qualité afin d'obtenir une analyse fine des cartes.

L'implémentation de *M-RCNN* est en réalité compliquée par des mises à jour dans les gabarits logiciels d'Intelligence artificielle et l'absence de code fourni par les auteurs originaux. Ces problèmes techniques ralentissent le travail de recherche et ne nous ont pas encore permis de tester ce réseau.

En conclusion, on avance avec de belles perspectives d'amélioration

Il reste beaucoup de travail à faire mais le jeu de données est constitué et prêt à être utilisé pour l'entraînement et les tests. On peut déjà dégager des perspectives d'amélioration et, classiquement, commencer par l'augmentation de données. La rotation, le zoom ou les changements de taille ne seront pas rencontrés par le réseau sur les données réelles : il n'y a donc aucun intérêt à entraîner ce dernier sur ces images modifiées. En revanche, un autre type d'augmentation de données paraît intéressant à explorer : la génération de données artificielles. On pourrait proposer au réseau neuronal des masques et symboles en générant aléatoirement des cartes qui n'existent pas. À condition de respecter les réalités physiques (pas de symboles au milieu de l'océan par exemple), ces fausses cartes seraient déjà annotées et l'on pourrait enregistrer la position des symboles à l'issue de leur gestation. On peut également penser à l'ajout d'étapes de prétraitement facilitant la vie du réseau de neurones, car une donnée brute ne garantit pas les meilleurs résultats. On peut encore penser à des approches hybrides, avec des méthodes d'analyse d'images « traditionnelles », plus proches du *Machine Learning* que du *Deep Learning*.

Nous nous fixons pour but de ne pas limiter le pouvoir de généralisation de notre approche en l'adaptant aux seules cartes de Cassini. Par ailleurs, on peut explorer les possibilités d'inclure l'expert dans la boucle, ce qu'on appelle le *Human-in-the-Loop*, invitant pleinement l'expertise des spécialistes. En sciences humaines, la donnée complexe renvoie largement à l'expertise, l'annotation n'ayant pas ce caractère faible du type « *c'est un chat, c'est un chien* » à la portée de tous. De nombreuses annotations exigent

un travail de vérification experte, parce qu'une partie du symbole est effacée ou que des recherches complémentaires sont nécessaires à l'interprétation. Cela permettrait de pallier la sous-représentation de certaines classes car dans les approches *Human-in-the-Loop*, le réseau de neurones associe à sa prédiction un score de confiance. Les symboles sous-représentés, même s'ils sont incorrectement classés, pâtissent de leur score de confiance peu élevé et sont envoyés à un expert pour vérification.

En conclusion, les travaux réalisés jusqu'ici ont permis de créer une interface universelle, compatible avec d'autres types de cartes, même si le premier jeu de données constitué concerne les cartes de Cassini. Si l'on souhaite effectuer le même travail sur un autre type de cartes, il suffit de changer la liste des symboles dans l'interface. Les gabarits logiciels complets ne sont pas non plus basés sur les cartes de Cassini et peuvent être utilisés pour d'autres cartes, à condition de constituer à chaque fois un jeu de données d'entraînement. On peut se heurter à des problèmes d'implémentation, ce qui peut nécessiter un travail technique important avant d'obtenir un résultat. Enfin, on rencontre aussi des problèmes liés à la donnée – ici, sur les cartes – à travers la répartition entre des classes difficiles à gérer, même si l'on inclut l'expert dans la boucle.

En résumé, il existe de nombreuses perspectives d'amélioration, beaucoup d'approches à tester, que ce soit sur le prétraitement des données, sur leur traitement même ou sur le post-traitement (avec inclusion de l'expert).

Mathieu Chartier et Jean Pylouster décrivent d'autres outils reliant cartes anciennes et bases de connaissances historiques

Mathieu Chartier, doctorant en humanités numériques au sein du Criham, prépare une thèse sur les ontologies et les graphes de connaissance historique sous la direction de Guillaume Bourgeois et de Stéphane Jean, maître de conférences à l'Ensm-Université de Poitiers (LIAS). Jean Pylouster, ingénieur d'études CNRS, est rattaché au CeRCA des Universités de Tours et de Poitiers, laboratoire en ergonomie cognitive pleinement associé au projet de L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine.

Mathieu Chartier. Nous présentons ici un outil d'intégration de données historiques géolocalisées dans une carte. Au départ, un corpus de textes fort de près de 1 200 documents numérisés et dont le

contenu a été retranscrit par OCR dans le cadre de *L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine*. Ce sont pour la plupart des mémoires de recherche en maîtrise ou DEA (et masters 1 ou 2) et quelques thèses. En résumé, de la littérature grise, avec une prédominance en histoire moderne et contemporaine, mais aussi de l'histoire médiévale et de l'histoire de l'Art pour ces trois époques. Les textes extraits ont été convertis en PDF, un format fonctionnant page par page nous permettant d'indexer chaque donnée en sachant parfaitement où elle est mentionnée, ce que *Word*, à travers les formats doc ou docx, ne permet pas. Les PDF obtenus sont convertis en fichiers *Json*.

On voit la page texte extraite et le numéro de page correspondant. Toutes les pages sont ainsi présentées avec les métadonnées relatives (informations sur l'imprimeur, la date de publication, etc.) permettant de compléter les informations affichables sur une carte.

L'étape suivante consiste à nettoyer ce texte « bruité ». L'OCR est loin d'être parfaite et son degré de précision oscille entre 90 et 97 % selon l'outil utilisé. Sur le papier, ça semble satisfaisant mais, sur un grand volume de mots, le grand nombre d'erreurs de reconnaissance est trop important. Les nettoyages, automatiques puis manuels, prennent beaucoup plus de temps que la numérisation et la reconnaissance elles-mêmes, mais nous permettent ultimement de partir des données extraites et des fichiers *Json* générés.

Pour aller plus loin, nous avons besoin d'analyser et d'indexer notre corpus. Nous avons créé un outil auquel nous avons donné le nom de *fureteur*. Loin d'être définitif, cette machine à questionner représente une étape dans le cadre de la réalisation pratique de *L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine*. Le *fureteur* permet d'interroger notre corpus à l'aide des requêtes typiques de n'importe quel moteur de recherche (un mot, plusieurs mots, des requêtes entre guillemets pour avoir une expression exacte, etc.). Nous avons ajouté l'usage d'expressions régulières afin d'aller plus loin, ouvrant le champ des possibles en nous permettant de corriger à la volée les fautes et erreurs d'OCR. Au-delà, nous tirons surtout les informations sur les lieux ou sur toute entité nommée provenant de nos documents.

Envisageons une requête basique sur une ville ayant récemment retenu notre attention : Airvault, dans les Deux-Sèvres. La recherche parmi 200 000 pages prend quelques secondes et le *fureteur* nous dit que 348 pages sont concernées par la requête. Les séquences générées correspondent au nombre de mentions d'Airvault, y

compris au sein d'une même page. À partir de là, nous pouvons fouiller, connaître le nombre de documents dont nous disposons et de quoi ils parlent...

Il arrive que la ville d'Airvault soit mentionnée dans une liste de toponymes sans que cela n'ait véritablement de sens. Cependant, en « grattant » un peu plus, en accomplissant un vrai travail d'historien, fouiller ce corpus permet d'en extraire des pépites. On a là le texte extrait mentionnant « Airvault », associé au contexte dans la page, et l'on peut juger de la pertinence de l'information.

Inversement, le *fureteur* nous permet d'apprécier la qualité de notre corpus et d'en ôter les éléments trompeurs et susceptibles de biaiser des traitements ultérieurs, cette partie constituant l'un des aspects capitaux de mon doctorat.

Jean Pylouster. De mon côté, je m'intéresse à la partie d'architecture dite « bas niveau » du projet puisque différentes briques se mettent en place, celles relevant des textes historiques et celles mettant en œuvre des cartes anciennes géoréférencées. Pour cela, après une recherche d'entités nommées, nous nous appuyons sur la sortie du *fureteur* pour obtenir un fichier *Json* contenant des localisations et des lieux. Nous utilisons *Spacy*, un logiciel très courant dans le domaine du traitement automatique du langage, facile à programmer en langage *Python*. Cette brique *Spacy* s'appuiera *in fine* sur des ontologies permettant d'en affiner les sorties. C'est en cela que nos deux recherches sont complémentaires.

Une fois récupérés ces lieux issus de différents mémoires, on obtient un fichier *CSV* ; on a donc un *Json* en entrée et un *CSV* en sortie à partir duquel on va s'intéresser cette fois-ci au géocodage avec *OpenStreetMap*. On interroge *OpenStreetMap* pour récupérer des coordonnées sur nos lieux et de là, le système produit un fichier *Geojson* (nous essayons de rester dans les standards classiques) permettant d'afficher nos points sur la carte. Un autre outil, *Folium*, également en *Python*, permet de créer un fichier *HTML* à l'interrogation et d'afficher les différents points de cette carte.

En passant la souris et en cliquant sur un point (on zoome ici sur Airvault), on obtient la mention du texte originel.

Mathieu Chartier. On voit sur notre carte la « Porte-à-Baillif », associée au nom du document correspondant et à la page d'où provient la mention. Allant plus loin, on peut cliquer sur d'autres points et produire plusieurs mentions d'un même lieu dans différents documents. Ces différentes mentions d'un

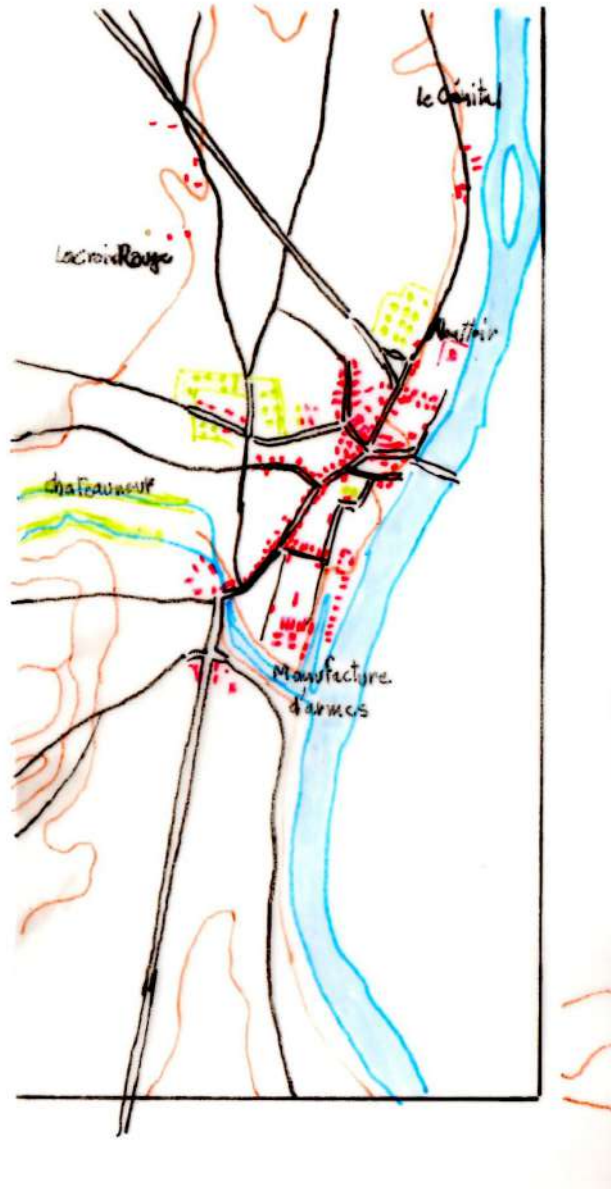


Figure 15 : Carte de France type 2010 ; 1:25 000 ; feuille Châtelleraut ; extrait.

même lieu renvoient à des mentions quelque peu différentes selon les textes. Là, par exemple, on parle d'une maison à pans de bois, celle du 9 de la rue Porte-Caillon, et finalement, on en extrait deux mentions. Enfin, en cliquant, on ouvre le PDF concerné à la page désirée. L'idée générale sous-jacente est de pouvoir solliciter le corpus d'une autre manière.

Question du public. « On voit qu'il y a des points situés un peu loin d'Airvault ? »

Mathieu Chartier. Ce sont des mentions vraisemblablement liées à des fiefs situés un peu à l'écart, ou même des lieux cités dans l'un des mémoires traités et qui furent associés à Airvault : une donation liée à une abbaye, par exemple. Nous avons dû ôter quelques informations afin d'éviter de montrer des écrans trop bruités. Par ailleurs, certains points ont été ajoutés par nos propres soins dans le but de montrer les limites actuelles de l'extraction automatique. Une extraction sur un toponyme classique se fait plutôt bien dans un texte et l'on parvient assez facilement au nom d'une rue. Cependant, en entrant à partir d'autres éléments, comme un monument, on ne trouve pas forcément les précisions permettant se positionner dans *OpenStreetMap*, ce qui complique les choses.

Citons encore le problème du surfacique : où placer le point ? Parlant du linéaire, nous utilisons pour l'instant la méthode employée par B. Duménieu, à savoir mettre un point ciblant la rue complète si l'on n'a pas de numéro précis.

Prenons l'exemple assez typique d'une maison à pans de bois. Qui aurait été capable, en extrayant le texte « maison à pans de bois », de savoir qu'elle était située dans la rue Porte-Caillon, sauf à avoir étudié la ville ? C'est typiquement le cas où nous intervenons manuellement pour dire : « *Je connais cette maison à pans de bois et je sais qu'elle se situe telle rue* ». Voilà qui montre bien qu'on ne pourra jamais faire une extraction à 100 % des toponymes, sauf à compter sur la précision des bases de données des acteurs du patrimoine, au premier chef desquels l'Inventaire, et des archéologues ; il restera forcément une partie de l'information à relier et traiter par ailleurs. Il faudra également que l'on se pose la question des informations relatives à un lieu mais ne portant pas sur un point précis, géolocalisé ou géoréférencé. Nous l'avons fait volontairement sur la ville d'Airvault, en mentionnant, au sens très large du terme, des « meuniers » ; mais ces meuniers exploitaient quels moulins, et où se situaient ces moulins ? On ne le sait pas forcément pour ce type de mention et c'est d'ailleurs là tout l'intérêt de travailler sur les

ontologies ou, plus exactement, sur une extraction plus poussée des textes afin d'obtenir des croisements de données nous permettant, à terme, une extraction plus précise de manière automatisée.

Jean Pylouster. Avant de terminer, parlons un peu d'architecture. Toutes ces briques – les briques actuelles et celles à venir – doivent suivre une chaîne de traitement. Pour ce faire, nous avons adapté un gestionnaire de *pipeline* très utilisé dans le domaine de la bio-informatique qui est le mien. Il s'appelle *Nextflow* et il est lui aussi en *Python*. *Nextflow* permet d'enchaîner ces briques avec une gestion d'erreur ouvrant la voie d'un travail approfondi, ce qu'on appelle le *batch* d'enchaînement. Derrière tout cela, vous percevez bien qu'il y a beaucoup de données que l'on ne peut pas traiter au fil de l'eau ; ça nécessite vraiment forcément un travail de fond et un suivi pas-à-pas, étape par étape.

Mathieu Chartier. Chaque étape – du traitement de nos documents numérisés jusqu'à l'insertion des points dans la carte – représente un domaine de recherche. Nous ne sommes pas omniscients, d'où l'intérêt de bénéficier de l'aide de chercheurs et de laboratoires intervenant dans des domaines très différents, chacun pouvant contribuer à l'objectif définitif. Il y a énormément de nouvelles tâches à accomplir. On espère à terme parvenir à enrichir la carte de la manière la plus automatisée possible, pour que l'humain n'intervienne que pour compléter, corriger ou valider les données. On a indiqué justement des suites possibles du projet, de manière très générale.

Tout commence par le nettoyage de l'OCR et de l'HTR, car il y a encore trop de bruit. Nous parvenons à corriger beaucoup de césures de mots grâce à des fonctions automatiques. Ajoutons les problèmes des noms de lieu et l'évolution de la toponymie au fil du temps : « Airvault » avec « ault » de nos jours, c'était « aurea vallis » à l'origine. Que le meilleur modèle, *CamemBERT*, connaisse le lieu « aurea vallis » est aujourd'hui impossible. Cela posera de nouvelles questions pour améliorer l'extraction de lieux, des noms de rues, par exemple. Aller plus loin et obtenir la base de connaissances la plus complète possible, liant données cartographiées et données historiques documentées au sens propre – beaucoup de métadonnées, en vérité – exigera la réalisation d'une interface homme/machine collaborative en version web intuitive et pratique. Certains outils offrent la possibilité de changer un fond de carte à la volée, ce qui est très positif, mais la question centrale consiste à savoir si le fond de carte est réellement bien géoréférencé, afin de pouvoir y superposer de

```

{
  "content": {
    "pages": {
      "1": "ARAFELOFF Sophie \n Maîtrise d'histoire moderne \n LES FETES  

REVOLUTIONNAIRES A POITIERS \n (1789-1799) \n Directeur de  

recherche : Jacques PÉRET \n Université de Poitiers. Année  

2006-2007.",
    }
  }
}

```

Figure 16 : Exemple de référence et des métadonnées extraites

Recherche dans le corpus documentaire

Recherche actuelle dans le corpus documentaire : "rue du dépôt à sel"

Nombre de pages contenant les mots de la requête : 16
 Nombre de documents affectés par la requête : 2
 Nombre total de séquences générées : 23

Exportation vers...

SÉQUENCE	PAGE	CHEMIN	VOIR LE TEXTE
l'ancienne prison de la gendarmerie, ou à l'extrémité de la rue du Dépôt à Sel , même si cette 183 Marié 1937, op cit.184 Beauchet-Filleau 1859,	30	J50N-cleaned/PyMuPDF/Mémoires/Archéologie/Moyen Âge/Deux-Sèvres/Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.json	
s'étendait jusqu'à la porte à Baillif pour longer ensuite la rue du Dépôt à Sel , au nord de l'abbatiale. Enfin, du côté ouest, la façade	31	J50N-cleaned/PyMuPDF/Mémoires/Archéologie/Moyen Âge/Deux-Sèvres/Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.json	
au nord. En effet, on peut se demander si la rue du Dépôt à Sel existait avant le XV ^e siècle à cause de la large	31	J50N-cleaned/PyMuPDF/Mémoires/Archéologie/Moyen Âge/Deux-Sèvres/Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.json	
en dessous du sol de la surface actuelle de la rue du Dépôt à Sel . La maçonnerie de la fondation a été réalisée en moellons	38	J50N-cleaned/PyMuPDF/Mémoires/Archéologie/Moyen Âge/Deux-Sèvres/Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.json	
eu lieu sur la façade et le long de la rue du Dépôt à Sel . De ces interventions ont résulté la mise en place d'une	38	J50N-cleaned/PyMuPDF/Mémoires/Archéologie/Moyen Âge/Deux-Sèvres/Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.json	

Figure 17 : Exemple de recherche dans l'Atlas de la Nouvelle Aquitaine

```

{
  "type": "FeatureCollection",
  "properties": {"layer": "couchel"},
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "Point",
        "coordinates": [46.82744, -0.13786],
        "properties": {
          "commune": "Château d'Airvault",
          "page": "5",
          "référence": "Chartier Mathieu - Topographie et développement morphologique d'Airvault et de Saint-Loup-sur-Thouet au Moyen Âge - Volume 1.pdf"
        }
      }
    }
  ]
}

```

Figure 18 : Exemple de requête sur la commune d'Airvault

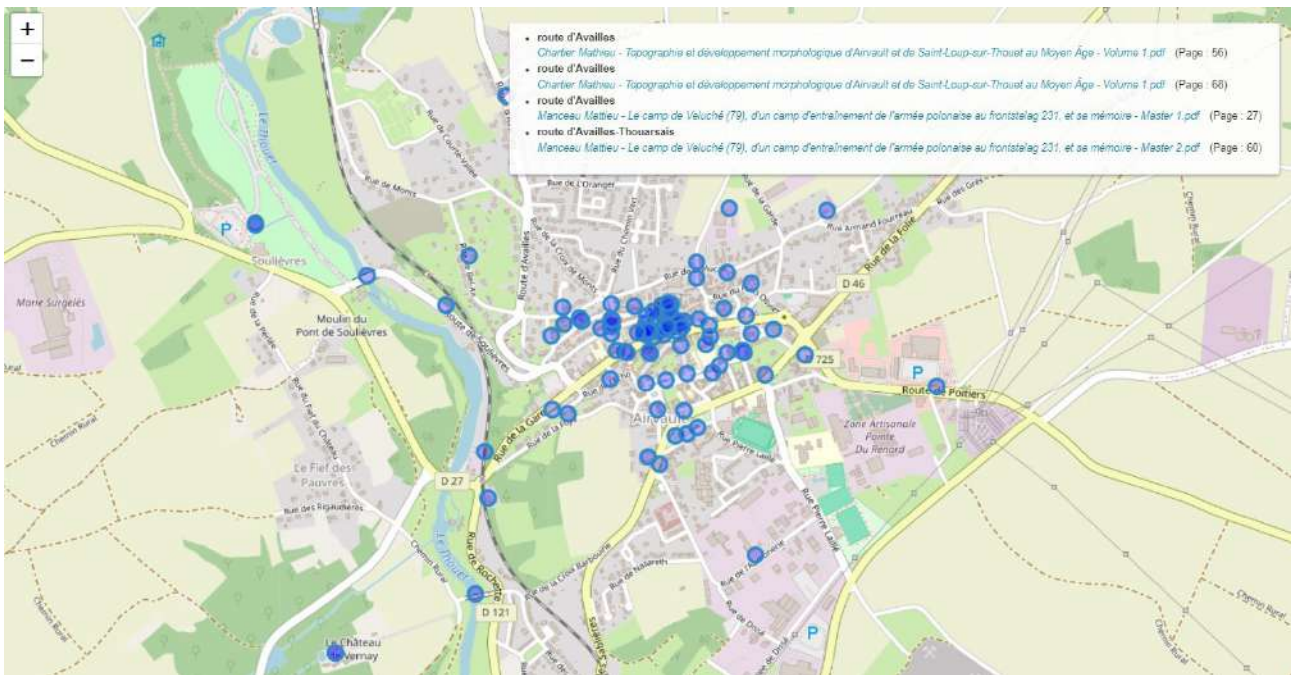


Figure 19 : Les lieux répertoriés dans nos documents concernant la ville d'Airvault. Ils apparaissent sous OpenStreetMap intégré dans notre application de test. Les mentions de lieux sont ici représentées sous la forme de points fixes, ni linéaires ni surfaciques.

multiples couches historiques sous une sémiologie unique. Il reste donc encore énormément de tâches à améliorer ou à réaliser, mais c'est tout le plaisir de la recherche.

Discussion

Guillaume Bourgeois. Deux réflexions. Nous avons entre les mains un jeu d'outils qui n'est peut-être pas complet, discutable, contenant des erreurs, mais c'est une base de départ à partir de laquelle on peut faire quelque chose. De là toute l'importance d'une plateforme unique permettant de réunir aussi bien l'histoire vue par les géographes – toutes les données qu'ils ont pu spatialiser à travers leurs cartes –, et la géographie des historiens – ce que les archives leur indiquent de telle activité à tel endroit, à proximité de telle autre activité... La carte et l'archive se complètent et se réunissent.

Question du public. « Je vous remercie pour votre sagesse à l'égard des plans anciens. On pourrait tout vectoriser. Soit ! Mais la vectorisation produit une sorte de nivellement par le bas. Elle nous fait perdre tout détail ne rentrant pas dans ses catégories comme « petit arbre isolé ». Je le dis d'autant plus volontiers et avec d'autant plus d'insistance que l'un des risques serait de perdre la source, parce qu'en ramenant tout en plan moderne, on court un énorme risque de perte. C'est très important de ne jamais perdre de vue les manies des dessinateurs, tout ce qui entre dans le document, très difficilement catégorisable à mettre en base de données et qui représente une richesse d'information considérable. »

Bertrand Duménieu (*ingénieur de recherche SIG et humanités numériques, EHESS*). Cette question de la perte d'information se pose à toutes les étapes. Il y a eu récemment à la BnF une discussion sur les sources cartographiques et leur numérisation. On a d'emblée une perte, celle du filigrane qui ne résiste pas à la numérisation. Or, le filigrane des plans donne des indications précieuses, en particulier pour retrouver l'imprimeur et son fournisseur de papier. Finalement, chaque traitement, chaque objectif de recherche ou d'exploitation nécessite des traitements particuliers qui vont dégrader le matériau source ou l'enrichir. Le dégrader, oui, mais en lui ajoutant d'autres informations, bref le transformer. Ce qui compte vraiment, c'est de pouvoir conserver la traçabilité, la généalogie des données, de sa place dans la collection, dans l'archive, jusqu'au bout du traitement, pour savoir quelles transformations il a subies.

Noël Richard. Ce que l'on cherche par la numérisation consiste en plusieurs choses. La

première d'entre elles est la préservation : faire que ces documents existent encore dans quelques dizaines d'années ou un peu plus. Cela n'interdit pas le travail de recherche sur les originaux. Deuxième élément, la numérisation en elle-même est datée : elle est faite à un instant donné avec les outils dont on dispose à cet instant, par exemple une caméra travaillant avec 3 à 9 canaux couleur. Si vous travaillez sur des tableaux du XIX^e siècle, vous ne verrez jamais plus les tableaux des impressionnistes tels qu'ils étaient au moment du Salon des refusés (les journaux parlaient alors de jaunes incroyables, d'oranges flamboyants, *etc.*) car ces couleurs ne sont plus présentes ; elles ont disparu, elles se sont oxydées. Néanmoins, on est capable de remonter la physique du tableau avec des caméras spectrales possédant 400 canaux dans le domaine du visible. On peut retrouver la trace de ces pigments et proposer une reconstruction du tableau grâce à la connaissance que l'on a de ce pigment, du liant, de la technique de l'artiste...

Vous avez donc raison : toute acquisition, toute numérisation est limitée ; elle ne prend que ce que l'on a pu acquérir à un moment donné mais, dans nos domaines, tous les 5 à 7 ans apparaît une nouvelle gamme d'outils produisant une masse de données de plus en plus colossale. La question est de savoir si ces masses de données aident à l'interprétation et l'intelligibilité des objets. Dans le cas qui nous intéresse ici, on cherche à déterminer des points de connaissance qui sont des abstractions pour suivre la trace d'un point à travers le temps. La question est donc toujours la même : « *Au-delà de l'acquisition de cet objet-là, que veut-on en faire ?* » Un restaurateur ou un conservateur, eux, souhaitent préserver l'objet pour les recherches futures que l'on n'a pas déterminées aujourd'hui ; ils veulent une numérisation complète et physique de l'objet. Pour les travaux que nous présentons ici, on a juste besoin d'être sûrs que l'on a capté toutes les informations nécessaires au travail d'analyse de ces cartes.

Question du public. « Une réflexion : les données sont presque infinies. On pourrait inclure dans votre corpus tous les inventaires dits topographiques de la DRAC, reprenant ou pas les mêmes éléments. On pourrait croiser les données incluses dedans, retrouver les moulins et le cadastre napoléonien des années 1830 ayant des toponymes rappelant les anciens lieux ; même s'ils ont déjà disparu. C'est assez vertigineux en fait, et ça ouvre de grandes perspectives. »

Mathieu Chartier. L'idée, dans un premier temps, est d'apporter la preuve de concept que l'on pourra ultérieurement développer, de manière quasi-

industrielle. Lysandre Hillairaud l'a justement évoqué en disant que l'extraction des annotations de lieux permet de dire : « *Ce toponyme, à tel endroit, sur une carte de telle année, nous allons le relier à telle donnée* ». L'avantage des bases de connaissances réside dans le fait qu'elles peuvent être enrichies à l'infini, en comptant notamment sur des évolutions du web sémantique permettant de les compléter davantage. Comptons sur les technologies représentant l'état de l'art et sur celles à venir. Un exemple vécu : travaillant avec mon directeur de recherche de l'époque, Luc Bourgeois, sur une abbaye ancienne appartenant à la grande vicomté de Thouars, nous découvrons tout à fait par hasard aux Archives du Cantal, à Aurillac, que cette abbaye avait été cédée pendant quelques années, quasiment après sa fondation. Or, depuis des années, on acceptait une date de fondation basée sur un texte apocryphe. Dans ce cas, c'est la chance qui nous a permis de le savoir mais, avec notre outil, on peut imaginer la traçabilité de cette abbaye à travers moult documents, dont ceux des archives d'Aurillac au point de voir un jour dans un croisement de données une mention d'Aurillac ou de ladite abbaye à Aurillac, identifier le document et en obtenir le numéro de liasse, et ne plus avoir qu'à aller vérifier cette donnée. Voilà la façon dont nous envisageons la recherche en humanités numériques, à terme et voilà qui va dans votre sens. Plus on aura de documents, plus on aura de sources, plus la précision des données nous permettra d'aller plus loin dans nos résultats de recherche.

Guillaume Bourgeois. On s'en rend compte dès maintenant à l'intérieur de notre laboratoire puisque nous pouvons interroger l'histoire de nos recherches propres, internes à notre population d'étudiants, sur des questions dont on ne soupçonnait pas quelles avaient été effleurées, voire traitées à fond. Cela nous permet d'apporter en outre, par le biais des métadonnées, c'est-à-dire de la citation des sources d'archives, des pistes initiales de recherche extraordinaires pour autant de jeunes chercheurs. J'ajoute que *L'Atlas historique de la Nouvelle-Aquitaine* n'est pas seulement une plateforme capable de fédérer « n » équipes mais que son but est d'aller vers le tissu associatif. Il existe en effet à travers le territoire des dizaines de sociétés savantes regroupant des chercheurs actifs, souvent retraités, parfois enseignants, particulièrement enracinés, dans une localité ou dans une aire plus large. Ce tissu associatif disposera bientôt de l'outil. Grâce à la grande proximité avec le terrain de ces gens qui passent trois jours par semaine aux archives, dans les documents, bien plus que nous-mêmes, universitaires, nous pourrions compter sur cet effet démultiplicateur accentuant le caractère vertigineux de l'entreprise. C'est en même

temps la tâche essentielle des humanistes que nous sommes – même si nous sommes des humanistes numériques – de rassembler la connaissance telle qu'elle a été acquise autrefois et de la faire revivre tandis qu'elle est souvent oubliée de nos jours.

Question du public. « Une deuxième question. Il y avait, dans les vieux atlas du CNRS faits manuellement, des focus sur certaines villes comme Annecy, Poitiers, des plans topographiques, remis à l'époque, vers 1400 ou 1500. On voyait les jardins des ecclésiastiques et des religieux, etc. Est-ce qu'il y a des possibilités de les géo-référencer ? »

Guillaume Bourgeois. Le Limousin a aussi été traité. Ce fut le point de départ de nos collègues de *L'Atlas historique du Limousin*, de compiler les données qui avaient été dessinés et d'en faire un traitement numérique.

Mathieu Chartier. Il faut que la carte dessinée soit géo-référencable pour qu'on puisse vraiment se calquer dessus. La question est toujours la même, c'est de ne pas avoir trop de distorsions. Examinant le plan d'Airvault, on voit qu'il n'existe aucun point sur le tracé de la rue de la Gendarmerie, tout simplement parce que cette rue n'existait pas au Moyen Âge... La rue actuelle aurait traversé le réfectoire de l'abbaye, aujourd'hui détruit ; le fait de pouvoir superposer les cartes dans une sémiologie commune change complètement notre vision de la ville.

Question du public. « On a cité Airvault mais est-ce qu'à chaque fois, c'est un toponyme ? En fait quand on cite « Porte-à-Baillif », est-ce que le mot « Airvault » est associé à « porte » ? Quand on a 200 000 pages et un million de toponymes, s'il faut un million de fois aller cocher quelque chose, c'est faisable mais... je voudrais savoir comment vous avez fait. »

Mathieu Chartier. Globalement, le traitement est automatique et, sur le toponyme « Airvault », nous avons enlevé de nombreux points afin qu'ils ne prennent pas trop de place, de façon à mieux voir le détail. Comment présenter de si nombreuses informations à l'échelle de la commune ou du village ? Dans le cas d'un nom de rue, voire d'un numéro de rue, c'est assez jouable de l'extraire mais, la « Porte-à-Baillif », nous l'avons ajoutée manuellement pour montrer ce vers quoi nous voulons tendre : situer la « Porte-à-Baillif » en créant des règles d'extraction de notre liste de toponymes. Dans ce cas-là, nous devons faire une détection de villes associées à ce toponyme. D'où l'intérêt d'avoir des croisements avec à côté, une base de connaissances : une « Porte-à-Baillif », on en connaît une à Airvault ; dans la zone actuellement

traîtée, ça devrait être celle d'Airvault... Le risque serait effectivement de tomber sur des zones où on aurait plusieurs noms de rue très proches. À Paris, dans des quartiers très proches, on retrouve les mêmes noms de rue...

Jean-Luc Pinol (*professeur émérite d'histoire contemporaine à l'ENS-Lyon*). Demain, je présenterai un certain nombre d'actions accomplies dans le cadre de *Paris Time Machine* et en particulier 12 000 photos géolocalisées de la commission du Vieux-Paris. On met l'accent sur le collaboratif et, ce à quoi on pourrait arriver, c'est à avoir des choses annotées de façon automatiques, certaines étant sûres, et d'autres demandant l'intervention d'un humain capable de dire « Ça, c'est l'hôtel de ville de tel lieu... », des choses que l'on a tout intérêt à faire avec les sociétés savantes. Reste le problème de la validation. Est-ce que si trois érudits disent « C'est ça ! », on dit que ça passe et on le valide ? C'est tout un processus à construire. La BnF a mis en place un projet dans *Gallica* incluant, il me semble, 370 000 lieux automatiquement répertoriés. Parfois, les lieux indiqués sont erronés et là, l'utilisateur peut les corriger. Selon le point, on met « C'est l'algorithme de Gallica », soit « Un lecteur a corrigé ». Cela ne veut forcément pas dire qu'il y en a un qui est plus juste que l'autre, ils n'ont pas les moyens de le savoir, mais on a les deux choses notifiées.

Thierry Sauzeau (*professeur d'histoire moderne à l'Université de Poitiers*). Ces réflexions font écho à un programme inclus dans *L'Atlas historique de Nouvelle-Aquitaine*, prenant exactement les choses en sens inverse, *HistoParty*. Airvault fait d'ailleurs partie des villes où l'on a mené cette expérience. On réunit des gens, supposés être porteurs de mémoire, souvent assez âgés ou érudits, et on les met devant des ordinateurs, avec des étudiants devenus leurs tuteurs, en quelque sorte. On leur demande « Qu'est-ce que vous connaissez sur votre lieu de vie ? » et l'on pose des points, on fait des linéaires, on dessine des surfaces. Par la suite, on implémente ces données dans une interface afin de mettre au banc d'essai de la base de données et tenter de valider ce qui nous a été raconté sur place. Ces démarches un peu subjectives, on peut les entreprendre d'une manière ou d'une autre dans le cadre de processus de science participative. Même si c'est imaginaire – c'est quelqu'un ayant 80 ans en 2023 qui le dit –, on trouve ça très bien. On s'est d'ailleurs posé la question de la validation et on s'est dit que dans un premier temps, on prenait tout. Et c'est seulement à mesure que, par des processus itératifs, on sera capable de mettre au banc d'essai ce qui nous a été raconté, au sens de la littérature académique ou scientifique, que l'on donnera à notre

information une note de qualité, mais on gardera quand même la trace de ce qui nous a été raconté car ça peut avoir de l'importance. Des géographes pourraient en faire quelque chose, pour dire que c'est un espace représenté, une carte mentale, ou bien qu'il s'agit de mêmes erreurs répétées à l'envie, comme pour l'abbaye d'Airvault.

Question du public. « Les cartes de Cassini comptent 33 icônes différentes, 33 catégories de motifs que vous avez au départ dans la colonne droite de l'interface. L'une des difficultés réside dans l'établissement de ces 33 catégories, peut-être pas tant avec Cassini, document gravé suivant des règles très précises, mais vous évoquiez Claude Masse, en disant, sans doute un peu rapidement me semble-t-il, que vous pourriez appliquer votre interface à Claude Masse. Claude Masse, c'est du manuscrit, et il travaille pendant 20 ans. Je ne suis pas sûr que le premier jour de la première année, il avait imaginé le code graphique qu'il allait appliquer pendant 20 ans. Concernant Masse, je reste sceptique face à cette liste de signes, même si on ne prend que les signes ponctuels, sans parler de linéaire ou du surfacique, sachant qu'il y a des brouillons et des mises au propre. »

Lysandre Hillairaud. Il est de notre devoir de prévoir ces cas exceptionnels avec, soit une classe indéterminée, soit une classe « autre ». Il y a toujours un moyen de spécifier que si l'on trouve une anomalie sur la carte, on peut aller la chercher et l'enregistrer. C'est vrai que l'on se pose la question : « Qu'est-ce que c'est que ce symbole ? », « Est-ce que c'est un hameau ou est-ce que c'est un château ? ». Ce qui est difficile pour nous le sera plus encore pour un modèle d'Intelligence artificielle qui donnera une réponse dans tous les cas mais avec de fortes chances de se tromper. Le processus d'annotation est donc très important et dépend du niveau d'expertise des annotateurs. Dans le travail qu'on a fait, effectivement, nous avons fait appel à des non-experts, à des gens qui, pour la plupart, n'avaient jamais croisé de cartes de Cassini. Beaucoup me disaient : « Et qu'est-ce que c'est que ça ? On n'arrive pas à le catégoriser, on n'arrive pas à savoir ce que ça représente... ». On a trouvé 8 ou 9 cas où « hameau et château » étaient mélangés. Qu'est-ce que l'on enregistre ? Autant de questions que nous posons à nos collègues historiens de l'AHNA, plutôt que d'essayer de nous prononcer dessus.

Question du public. « Certaines légendes ont été établies *a posteriori*, Cassini n'ayant pas réalisé de légende. Il arrive souvent d'ailleurs que des cartes proposent des légendes extrêmement longues et qu'on se rende compte que certains signes conventionnels ne sont pas utilisés. Il y avait une très

belle carte des environs de Paris donnant les jours de marché par des signes. Je trouvais ça superbe et cette légende, remarquable. Regardant la carte elle-même, je me suis compte que c'était seulement sur la légende et que ce n'était pas présent sur la carte. »

Bertrand Duménieu. Lysandre Hillairaud parle de symboles, disons « composites », un hameau et un château. Effectivement, on se rend compte que la carte est remplie de symboles composites, des lignes de légende propres à chaque carte... Il y a les « hameau-château », il y a aussi des « paroisse avec moulin », *etc.* Il y a donc des objets multi-classes à l'intérieur de la carte. Et puis il y a aussi l'inverse : plusieurs symboles représentant la même chose, parce que, quand les ingénieurs de Cassini ont fait leurs relevés de terrain, ils ont utilisé des symbolisations simplifiées. Souvent, c'est un petit rond avec un trait, avant que cette symbolisation ne soit mise au propre sur la carte. Il est arrivé un certain nombre de fois, pour des raisons que l'on ignore, qu'ils ne mettent pas le symbole complet, mais des symboles simplifiés.

Noël Richard. Nous parlons de l'utilisation d'outils numériques avec l'idée que ces outils puissants peuvent tout et donnent une vérité absolue. Ce que l'on attend d'eux, comme dans le cadre de l'imagerie médicale, c'est qu'ils nous gèrent les 80 % de cas simples et évidents, pour proposer à l'expert ou à la personne intéressée de prendre le temps de regarder les 20 ou 10 % de cas nécessitant vraiment une expertise. Ce que l'on attend d'eux, c'est de nous donner des éléments objectifs de comparaison pour dire : « *Ces symboles sont proches graphiquement ; est-ce qu'il y a quelque chose à en apprendre et à en déduire ?* ». La décision n'appartient pas à l'outil numérique de modifier cette carte-là, cette église-là ; c'est la place de la collaboration, c'est vous qui êtes les experts, c'est vous qui décidez. Dans le travail que l'on fait ici avec les historiens et les géographes, ou dans le cadre de l'imagerie médicale, ou dans le cadre de la biologie, à chaque fois, dès qu'on avance un tout petit peu dans la connaissance des données, des images, on travaille sur les limites du savoir de l'expert. On l'interroge et en lui ramenant des statistiques, parce que ce cas-là existe plusieurs fois, on l'aide à progresser dans sa connaissance de ces cas limites. Cela ne relève pas de la magie, d'un truc absolu ; on touche à des outils d'aide à l'analyse d'éléments statistiquement faiblement représentés. C'est ce qu'on va chercher : comment les identifier, même s'ils sont statistiquement faibles ? Ils existent suffisamment pour qu'à partir de quelques unités ou quelques dizaines d'unités, on puisse travailler en tant qu'expert et en dire quelque chose. C'est dans cette collaboration que le travail est intéressant.

Bertrand Duménieu. Sur la carte de Cassini, je me demande si l'extraction automatique ne peut pas être aussi utilisée de manière semi-supervisée pour reconstituer la légende aussi d'une certaine manière. C'est-à-dire qu'il y a quand même des classes de base, mais avec ce qui est extrait, la retravailler pour l'éditer, ou disons, réapprendre les classes de cette manière-là et finalement redéduire la légende de ce qu'on trouve vraiment dans la carte d'après l'extraction, et pas purement de ce qu'on trouve dans la légende *a priori*.

Thierry Urruty. Comme l'a dit Lysandre Hillairaud, le but est d'avoir un modèle apprenant avec une expertise, en faisant des interrogations itératives et avec le temps. Il faut qu'il y ait plusieurs rectifications fournies pour un même symbole pour que, s'il y a une question posée, on la mette sur la table et on se dise : « *Là il y a des statistiques montrant que ce symbole est mal étiqueté, etc.* ». La plupart du temps, c'est un hameau ou, parfois, c'est un château. On doit regarder les erreurs qui ont été faites, mettre les erreurs sur la table et on essayer de trouver une solution.

Question du public. « L'un des symboles les plus difficiles à lire sur Cassini, c'est le château ou la seigneurie, parce que la flamme est parfois incluse dans une hachure de relief, parfois trop proche d'un texte et l'on croit que c'est un accent ou autre chose. Parfois, le château est répertorié soit en hameau soit en simple ferme, alors que sur des documents du ministère de la Culture, c'est bien une seigneurie ancienne. Comment dire si c'est bon ou non ? »

Thierry Urruty. Dans l'interface, chaque utilisateur a le droit de donner son avis. Tous les avis des utilisateurs seront mis en commun afin que l'on décide quoi faire.

Noël Richard. Le travail de Lysandre Hillairaud a consisté dans un premier temps à travailler sur la classification automatique et sur la reconnaissance et la détection de ces symboles. On manquait d'une base d'apprentissage bien fichue. Lysandre a travaillé sur un outil d'annotation permettant de construire cette base. Les symboles n'ont pas tous la même taille ; ça veut dire que l'outil mathématique détectant le symbole doit prendre en compte le fait qu'il peut varier d'échelle. Par ailleurs, comme il le disait, il peut y avoir des textes en-dessous des reliefs. Il faut intégrer cette information de fond : seule une zone élargie autour du symbole permet d'identifier le type de fond pour en déduire si les contrastes existent... Ce qui est très intéressant dans ce qu'il a dit, c'est justement qu'un outil travaille avec *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), c'est-à-dire les contours, tous les contours, les petits comme les grands par

rapport au symbole. On voit ce qui est mis en œuvre numériquement pour les reconnaître.

Pour que l'on puisse aller loin, il faut qu'on définisse bien la limite de ce que l'on cherche. La limite est infinie et l'on sait qu'on ne pourra pas tout faire. C'est définir à quel moment on a réussi sur l'attribut qui va bien, sur la mesure de distance qui va bien entre les symboles et sur le taux de classification. Sur ce dont on est absolument sûr, on dit : « *Ça, on doit le retrouver à 100 %, il n'y a pas de discussion possible* », et les choses pour lesquelles on n'est pas tout à fait sûr, faire en sorte que les possibilités ne soient pas binaires.

Bertrand Duménieu. Imaginons qu'on parte d'un algorithme, d'un modèle qui apprend justement à reconnaître les lieux ponctuels avec une symbolisation sans classe. On les reconnaît tous, et ensuite on les classe par ressemblance avec n'importe quelle méthode *clusterisant* de manière hiérarchique, de manière à les regrouper par ressemblance. Une fois ce regroupement fait, on demande collaborativement à nos utilisateurs de valider la classification finale. Dans la plupart des cas, tout le monde va dire : « *C'est bon, c'est un château* ». Dans d'autres, plus compliqués, les mêmes diront : « *30 % c'est un château, 30 % c'est autre chose, 5 %, etc.* ». Non seulement on peut imaginer que ça recompose une légende à partir des données qu'on peut confronter avec la légende ou l'historiographie, et en même temps, repérer les endroits où il y a un problème dans la classification ou bien une question sur la nature du lieu et la nature de la représentation de l'élément.

Noël Richard. En gros, c'est la question d'une stratégie d'extraction des zones d'intérêt, puis de labellisation. Détecter les zones d'intérêt, puis en faire la classification... tandis que l'autre stratégie, c'est « *Je détecte et j'identifie en même temps* ». Lysandre, tu as travaillé sur cette question : est-ce que tu veux en dire deux mots ?

Lysandre Hillairaud. Sur les approches *Deep learning*, les deux se font quasiment en même temps, que ce soit au moment de faire la détection, après l'entraînement, mais aussi pendant l'entraînement. Je ne suis pas sûr pour *M-RCNN*, mais je pense quand même qu'il y a des résultats de la classification qu'il prend en compte après pour le calcul des régions d'intérêt. Et il affine comme ça en fonction des deux. Il me paraît difficile de séparer ces deux tâches-là sur du *Deep Learning*. J'ai essayé quelque chose comme : en scannant l'image, on fait une classification sur chaque petit bout de cette image. Cela donne des probabilités d'appartenance à la classe et l'on peut déterminer des zones où l'on voit qu'il y a des symboles. On

peut parvenir à de tels résultats avec du *Machine Learning* classique mais je ne suis pas sûr qu'ils seront meilleurs. Dans tous les cas, on peut accomplir le travail avec l'expert et, une fois la prédiction réalisée, faire intervenir l'expert sur la position et après sur la classe. Et puis, soit refaire l'entraînement, soit faire cette relecture à la fin.

Noël Richard. Dans notre lecture naïve d'une grande partie des symboles, on retrouve cette grammaire graphique. Il y a l'idée que le réseau de neurones retrouve des éléments de cette grammaire et après, en fonction de la grammaire retrouvée, étiquette les items. On a deux façons d'écrire : soit c'est implicite dans la construction du réseau de neurones et dans les éléments qu'il reçoit, soit on va le chercher de façon explicite en construisant d'autres structures, ce qui permet après d'avoir les éléments de grammaire s'associant de façon évidente, et des éléments de grammaire moins évidents dans l'interprétation et pouvant donner lieu à l'identification du bon groupe.

Bertrand Duménieu. Une bibliothèque de New York a expérimenté, en 2018 je crois, des outils massivement collaboratifs d'extraction automatique du cadastre de Manhattan, *Building Inspector* qui partait d'un *a priori* sympathique : mettre le plus grand nombre sur le projet, anonymes d'Internet... Il y avait un plan, il fallait regarder le numéro, une parcelle, en noter la couleur parce que les cadastres avaient été faits par des compagnies d'assurance. Moi-même, j'ai pu le faire sans connaître la ville particulièrement. Plus tard, ils se sont posé la question de traiter des sources plus complexes, nécessitant des experts, et il me semble qu'ils ont plus avancé...

Mathieu Chartier. Il peut arriver que, grâce à vos connaissances propres, vous sachiez qu'il existe en un endroit un château sans que la carte de Cassini n'y fasse la moindre mention : un château pourtant antérieur au XVIII^e et à cette carte. Ayant un doute entre deux symboles vous mettez « *château* », parce qu'il y a de grandes chances que ce qui est signalé soit en fait un château. Pensons toutefois en termes d'IA et de réseau de neurones. Si vous savez, vous humain, que c'est un château bien que l'icône ressemble beaucoup plus à un hameau, le modèle est tout à fait en droit de penser que c'est un hameau et de se dire que le château proposé n'a pas sa place ici. On génère donc du bruit et, en étant aussi précis scientifiquement, on déroute le réseau de neurones. De vraies interrogations sur la façon dont on annoté jusqu'à ce point-là, et le pourquoi de nos annotations.

Question du public. « Extrêmement intéressant, ça veut dire qu'il faudrait dire à la machine : « *C'est*

un château, parce que je le sais, moi », même si la figure n'est pas une figure de château. »

Mathieu Chartier. C'est presque ça, en effet, presque un niveau de doute.

Question du public. « La machine ne l'intègre pas naturellement dans les moyens qu'elle met en œuvre pour reconnaître un château. »

Noël Richard. Il est certain que l'on revient toujours à la même chose. Le numérique, c'est forcément binaire : « *Oui/Non* » ! On a besoin ici d'une mesure de certitude dans l'annotation car on est dans les probabilités. Il faut se mettre d'accord sur le processus d'annotation. Allant reconnaître ce symbole, on a utilisé une information venue d'ailleurs ; on a lié cette production à d'autres productions de connaissances pour les croiser, à des données complètes, précises, certaines. Le travail de l'application finale inclut les experts ; il faut accepter que le cycle ne soit pas achevé parce que la carte ne dit pas plus que ça. L'interrompre crée une pollution.

En revanche, l'intérêt du processus de recherche mis en œuvre, c'est d'arriver à associer différentes sources de connaissances, y compris les sources historiques, pour affiner les décisions et évolutions. Là où nous en sommes, nous savons qu'il faut mettre l'humain dans la boucle mais est-ce que c'est l'expert uniquement ? Est-ce que c'est l'observateur ? Un truc statistique ?

Bornons nos problèmes. Nous souffrons de ne pas suffisamment borner les questions de recherche. Un projet borné dans ses attendus et avec une mesure de satisfaction vient à résolution dans les 2 ou 3 ans. Nous avons appris en marchant ensemble. Nous devrions être capables de résoudre les nouvelles questions se présentant à nous.

Guillaume Bourgeois. Chers amis, je pense que l'on peut considérer que nous avons vécu un assez bel après-midi de réflexion. Merci encore.