



**HAL**  
open science

## Vérifier des routes maritimes passées via une cartographie interactive

Christine Plumejeaud-Perreau, Bernard Pradines

### ► To cite this version:

Christine Plumejeaud-Perreau, Bernard Pradines. Vérifier des routes maritimes passées via une cartographie interactive. M@ppemonde, 2026, Incertitudes cartographiques, 141, <10.4000/15v4s>. <hal-05571395>

**HAL Id: hal-05571395**

**<https://hal.science/hal-05571395v1>**

Submitted on 29 Mar 2026

**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-SA 4.0 - Attribution - ShareAlike - International License

# Vérifier des routes maritimes passées via une cartographie interactive

Christine Plumejeaud-Perreau

Université de Poitiers, laboratoire Migrinter UMR CNRS 7301

Bernard Pradines

Université de Poitiers, laboratoires FoReLLIS UR 15076 et MIMMOC UR 15072

fr

À partir d'une base de données sur le commerce maritime de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, une proposition pour la lecture interactive de trajectoires incertaines (de navires ou de capitaines) est déployée. Elle tend à valoriser la nécessité de connaître et de modéliser finement cette incertitude, multi-dimensionnelle par nature et, ensuite, à concevoir un outil d'exploration adapté aux questionnements de l'utilisateur. Il s'agit ici de coupler intelligemment cartographie et graphiques interactifs pour faciliter l'analyse et la critique de l'interprétation des sources inscrites dans la base de données. L'outil libre et disponible sur le Web offre notamment une perspective originale sur l'usage des chronogrammes interactifs dans le domaine des représentations spatio-temporelles.

cartographie interactive, incertitude, interprétation de sources historiques, cartographie d'itinéraires

Using a database about French maritime trade of the end of the eighteenth century, this is a proposal for the interactive analysis of ships (or captains) itineraries, very uncertain per nature, on the Web. It defends first, the requirements for an accurate modeling of this multi-dimensional uncertainty character of the dataset, and second the conception of a specific exploratory tool, well suited for user needs. The aim here is to intelligently combine cartography and interactive graphics to facilitate analysis and critical interpretation of the sources in the database. This free, web-based tool offers an original perspective on the use of interactive chronograms in spatio-temporal representations.

interactive cartography, uncertainty, interpretation of historical sources, route mapping

[Incertitudes cartographiques](#)

Mars 2026

## Introduction

Les archives historiques sont loin de proposer une vision univoque du passé, elles ne fournissent que des indices épars pour la construction de faits historiques ; en ce sens, les historiens, comme tous les chercheurs en sciences sociales, savent bien que parler de « données brutes » est un oxymore (Gitelman, 2013). Ces données résultent de constructions intellectuelles qui doivent toujours être remises en débat, et rien ne peut jamais être tenu pour certain. Cet article propose de discuter comment la technologie numérique et, en particulier, la cartographie interactive sur le Web permet de géovisualiser des données historiques sans masquer les questions et l'incertitude inhérente à ces reconstitutions, et peut favoriser la critique de l'interprétation des sources publiée par l'historien-ne. Le cas d'étude qui illustre notre propos porte sur le commerce maritime au XVIII<sup>e</sup> siècle, dont il s'est

agi de proposer une visualisation expressive et, notamment, cartographique. Les sources historiques, qui ont été saisies dans une base de données spatio-temporelle nommée *Portic* dans le cadre d'un programme de recherche éponyme (ANR-18-CE38-0010, 2019-2023, <https://anr.portic.fr>), permettent de reconstituer au moins une année de circuits de navigation sur les côtes françaises, du ponant au levant en 1787.

L'apport en termes d'analyse est considérable — par exemple pour déterminer les aires de navigation en fonction du tonnage ou encore la durée des rotations — à la condition de lever ou d'explicitier les incertitudes inhérentes à cette reconstitution, connues par un travail approfondi de curation des données et de qualification des degrés d'incertitude des principales variables (Plumejeaud-Perreau *et al.*, 2023b). En effet, si plusieurs approches interactives de géovisualisation des flux existent (Jegou, 2017 ; Lecomte *et al.*, 2018), voire même des outils tels qu'*Arabesque*<sup>1</sup> (Bahoken *et al.*, 2021), et si de précédents travaux ont formalisé les difficultés que posent spécifiquement la cartographie des flux maritimes (Bahoken *et al.*, 2016 ; Bahoken, 2017), ces résultats aident à interpréter des données agrégées dont les niveaux hétérogènes de qualité sont masqués. Ces travaux ne donnent pas à voir l'incertitude inhérente aux jeux de données, alors que notre propos est, au contraire, de proposer un outil qui, en montrant cette incertitude, permet aux historien·nes, mais aussi à des utilisateurs non spécialistes, de découvrir de façon intuitive les potentielles trajectoires de capitaines ou de navires, mais également de critiquer l'interprétation faite des sources.

Cet article élicite d'abord la nature de l'incertitude que nous souhaitons représenter, à partir d'exemples concrets. Après avoir détaillé les solutions existantes en matière de sémiologie et de cartographie interactive pour la représentation de trajectoires individuelles, nous expliquons ensuite nos choix en matière de conception d'interface et d'architecture. Il s'agit ici de proposer un cadre d'analyse de trajectoires individualisées adapté aux incohérences logiques que peut comporter ce corpus, à travers le couplage d'un chronogramme interactif à une carte interactive, qui permet de dérouler des étapes et leurs alternatives aussi prudemment que le requiert l'examen des données.

## Exemples illustratifs de l'incertitude des données traitées

La base de données contient, entre autres, la transcription numérisée de plus de 30 000 congés de navires dans les ports français en 1787. Un congé est une déclaration fiscale d'un capitaine de navire à l'Amirauté d'un port qui l'autorise à partir. En outre, cette base de données contient deux autres sources produites par l'Intendance sanitaire de Marseille, à savoir les « Déclarations faites par les capitaines de bâtiments à leur arrivée », et les « Cahiers du petit cabotage ». Certaines descriptions de navires correspondent entre ces sources et peuvent confirmer une déclaration de l'autre source. Cette vérification est rendue possible par l'identification de navires semblables à travers ces différentes sources. L'information qui est traitée est de nature très imparfaite (Devillers et Jeansoulin, 2005) du fait d'informations inégalement disponibles, de l'imprécision de la formulation des lieux ou des dates, mais également d'informations fausses ou contradictoires. Un contrôle semi-automatique a permis de vérifier la cohérence des informations et d'en proposer une formalisation dans la base de données (Plumejeaud-Perreau *et al.*, 2023b).

Cependant, sans outil adapté, la visualisation de l'information se réduirait à une vision tabulée des informations. Le **tableau 1** détaille ainsi l'itinéraire du navire « Suzanne », en passant en couleur les lignes correspondant à des points d'observation avérés par les sources. Parti le premier juin 1787 de

---

<sup>1</sup> <https://gflowiz.github.io/arabesque-doc/>

la Rochelle pour l'estuaire de la Seudre, il a été contrôlé ensuite à La Tremblade, située dans l'estuaire de la Seudre, puis vu au départ de Marennes le 19 juin en partance pour Le Havre. Parti du Havre le 6 août 1787, alors qu'il a pris son congé le 4 août 1787, le navire a passé le détroit de Gibraltar le 24 août 1787 avant d'arriver à Marseille le 14 septembre 1787. Des intentions d'escales déclarées dans les sources s'intercalent entre les escales réalisées et peuvent tromper la simple logique de l'ordonnancement chronologique : le « Suzanne » n'a pas navigué du Havre à Marseille puis au Havre en deux jours. La valeur Z placée sur la variable *net\_route\_marker* est un moyen de filtrer ces escales « intentionnelles » considérées comme redondantes, mais sinon aussi comme infaisable par l'historienne. Cet attribut *ad hoc*, inventé par l'historien-ne qui contrôle la base de données, est ainsi porteur de toute la dimension interprétative de la source. Cette variable attribuée à chaque escale de chaque navire identifié dans les sources prend une de ces trois valeurs : A, Z ou Q. A signifie que l'escale doit être conservée, Z qu'elle doit être supprimée, et Q qu'elle vient en doublon d'une autre source (cas fréquent des registres de l'intendance sanitaire de Marseille).

Tableau 1. Ordonnancement des escales du « Suzanne », avec croisement des sources de Marseille et des congés de l'Amirauté

ESCALE	DATE DE SORTIE	DATE D'ARRIVÉE	<i>net_route_marker</i>
La Rochelle	1787=06=01		A
Seudre		1787>06>01!	A
La Tremblade		1787=06=05	A
Marennes	1787=06=19		A
Le Havre		1787>06>19!	Z
Le Havre	1787=08=04		A
Marseille		1787>08>04!	Z
Le Havre	1787=08=06		Z
Détroit de Gibraltar		1787=08=24	historien Z /algorithme A
Marseille		1787=09=14	A

Réalisation : C. Plumejeaud-Perreau & B. Pradines (2023)

Mappemonde, 2026

D'autres exemples démontrent mieux en quoi cet attribut peut aussi exprimer l'avis subjectif de l'historien-ne, concernant la possibilité ou l'impossibilité de certaines escales. Cette situation se produit lorsque la destination déclarée est vraisemblable, mais qu'aucune source compilée ne la confirme : c'est notamment le cas pour tous les congés pour la pêche ou vers des ports étrangers, ou vers des ports français dont les registres sont perdus. La « Marie Louise » des Sables-d'Olonne a obtenu deux congés en 1787 (le 9 février puis le 12 juillet) pour pêcher sur les bancs de Terre-Neuve. Sans preuve formelle de ces activités de pêche à l'arrivée, les dates sont cependant parfaitement cohérentes avec la connaissance historique de la pêche à la morue. Les deux trajets Sables-d'Olonne à bancs de Terre-Neuve sont possibles, mais incertains : l'historien-ne renseigne la variable *net\_route\_marker* avec A sur la ligne d'arrivée à Terre-Neuve avant le 12 juillet.

Dans d'autres cas au contraire, l'historien·ne invalide la destination déclarée alors que personne ne dispose du registre du port de destination, en se fondant sur sa connaissance de la navigation au XVIII<sup>e</sup> siècle : le « Turgot », 200 tonnes, capitaine Jacques Mahé, est parti de Brest le 4 juillet 1787 pour « l'Amérique », puis de Bordeaux pour la Guadeloupe le 12 octobre 1787. Étant donné que les navires marchands parvenaient rarement à effectuer un aller-retour vers les Antilles en moins de six mois, l'historien·ne considère que le « Turgot » n'a traversé l'Atlantique qu'une seule fois, donc *net\_route\_marker* pour « America » vaut Z sur la ligne suivant immédiatement son départ pour Brest.

Ceci résume les dilemmes et les incertitudes qui sont à analyser, sans compter ce qui pourrait être dit si des erreurs d'identification de capitaine ou de navire étaient détectées, puisque les orthographes des différents greffiers sont souvent difficiles à relire et les homonymies fréquentes. Avec cette visualisation tabulaire de la base de données ordonnée par points d'escale, les possibilités de comparaison d'itinéraires avec des capitaines ou des navires de noms proches sont inexistantes.

Il est donc souhaitable de disposer d'un dispositif de cartographie interactive des itinéraires maritimes, permettant de comparer des itinéraires et de critiquer l'interprétation des sources et, particulièrement, l'identification du navire, du capitaine, ou la valeur de la variable *net\_route\_marker*.

## État de l'art

L'état de l'art sur la représentation de l'incertitude est foisonnant (Buttenfield et Gantner, 1990 ; Harrower, 2003 ; MacEachren *et al.*, 2005 ; Jeansoulin *et al.*, 2010 ; Griffin, 2020 ; Kamal *et al.* 2021), parce que les cartes et graphiques sont des vecteurs de communication visuels à caractère synoptique qui sont donc fréquemment convoqués pour faciliter une prise de décision. La question de la confiance en l'information communiquée est donc centrale. Mais la définition d'incertitude est multiple : Thomson *et al.* (2005) signalent ainsi des divergences entre la notion d'imperfection et celle d'incertitude. Pour Cyril de Runz (2008), l'imperfection est une notion plus large que celle de l'incertitude, imperfection qu'il résume suivant les trois dimensions suivantes, à partir des travaux de Fisher *et al.* (2006) :

- La complétude des données : est-ce que la couverture spatiale et temporelle des données concorde avec les besoins de l'analyse ?
- La précision des données : les mesures ou les catégories sont-elles détaillées avec une granularité fine ?
- L'exactitude des données : la mesure produite est-elle proche ou pas de la valeur réelle ?

Devillers et Jeansoulin (2005) remarquent que la littérature anglo-saxonne étudie les questions d'imperfection sous le terme « incertitude », tout en les reliant de façon centrale à la description et la mesure de la qualité de l'information géographique. La norme qualité ISO 19157 (ISO/TC 211, 2023) établit ainsi un cadre pour la modélisation et le rapportage de l'imperfection en détaillant ces autres dimensions :

- La cohérence : est-ce que des contradictions existent dans les données ?
- La traçabilité (ou généalogie) des données : quelle est la provenance des informations ?
- La fiabilité des données : la source des mesures produites est-elle généralement exacte ?

Ultérieurement, Devillers *et al.* (2019) expliquent toutefois que la qualité et l'incertitude ne traitent pas des mêmes problèmes. L'incertitude relève, en particulier, des différences entre le monde réel et sa représentation, qui sont dues au fait que le modèle capture de façon partielle la réalité et

modélise suivant un certain niveau de précision et parfois avec des erreurs (inexactitudes) ou des ambiguïtés cette réalité ; le modèle étant donc source d'incohérences logiques. Alors que pour ce qui relève de la qualité interne, c'est plutôt la réalisation du modèle qui est remis en cause et il s'agit alors de mesurer la conformité de la représentation produite au modèle (et non à la réalité) avec, notamment, des mesures d'exhaustivité.

Dans notre cas, nous sommes complètement concernés par l'imperfection avec, en particulier, l'incomplétude de l'information, puisque des registres maritimes français ont été perdus en France (à Douarnenez en Bretagne, par exemple) et que personne ne dispose d'un accès à toutes les sources de navigation étrangères qui pourraient permettre de compléter, mais aussi croiser ces sources, ou de valider les saisies qui peuvent comporter des inexactitudes ou des ambiguïtés. En ce qui concerne la représentation de la complétude de l'information, nous avons choisi de proposer une cartographie exhaustive des sources d'information qui sont croisées, et de détailler la disponibilité de tous les attributs qui sont importants pour la reconstitution des itinéraires. Pour rester simple et suivre le conseil du professeur en design de l'information, Alberto Cairo (2020), cette carte interactive est présentée séparément sur <http://vizsources.portic.fr> suivant une sémiologie adaptée à une implantation ponctuelle, celles des ports et des sources associées.

Soulignons également que l'imprécision fait partie inhérente du modèle, car les dates de départ notées dans les congés, par exemple, ne sont pas forcément les dates de départ effectives : les capitaines réalisent la procédure administrative du départ le jour même ou un ou deux jours avant le départ, mais il se peut que celui-ci soit retardé du fait d'une météo défavorable. Ces exemples illustrent la dimension multiple de l'incertitude attachée au corpus traité (Plumejeaud-Perreau *et al.* 2023b) et qui ne concerne pas uniquement l'objet géographique que constitue la trajectoire du navire. Si l'état de l'art fourmille de propositions visant à la modéliser (Pinet et de Runz, 2019), à en tenir compte dans les analyses, en particulier dans le domaine de l'agriculture en France (Pinet *et al.* 2024), ou bien à la visualiser (Pang *et al.*, 1997 ; Hullman *et al.*, 2019 ; Kamal *et al.*, 2021), nous avons souhaité nous concentrer au maximum sur ce qui relève de l'analyse et la visualisation des incohérences logiques dans le cas de trajectoires, qui seraient liées à une erreur de modélisation de *net\_route\_marker*.

Il s'agit, en effet, de proposer des artefacts visuels qui rendent compte de façon efficiente de l'incertitude dans ces différentes dimensions (Hullman *et al.*, 2019 ; Cairo, 2020). Les méthodes graphiques de représentation de l'incertitude se focalisent souvent sur l'expression visuelle de l'inexactitude des données disponibles, dont la modélisation est fondée sur une approche statistique de la vraisemblance. Celle-ci vise à faire observer la variance  $\sigma^2$  d'une distribution et à faire comprendre que les moyennes  $\mu$  calculées comportent des marges d'erreur. Trois types d'artefacts visuels sont alors proposés à cette fin (Bonneau *et al.*, 2014) :

- représenter la distribution des valeurs (le *violin plot*<sup>2</sup> étant réputé le plus efficace alors) ;
- encadrer les valeurs moyennes de barres d'erreurs s'arrêtant nettement sur la valeur d'un multiple  $\alpha$  de l'écart-type  $\sigma$  ;
- dégrader le signe choisi de façon progressive sur la fourchette  $[\mu - \alpha * \sigma, \mu + \alpha * \sigma]$ , en marquant les valeurs proches de la moyenne  $\mu$  d'une valeur graphique plus forte que sur les bords de l'intervalle, créant ainsi un effet visuel de flou. La valeur graphique plus forte peut soit s'exprimer à travers la densité du signe graphique ou son épaisseur plus forte, soit dans la valeur de couleur choisie plus soutenue.

---

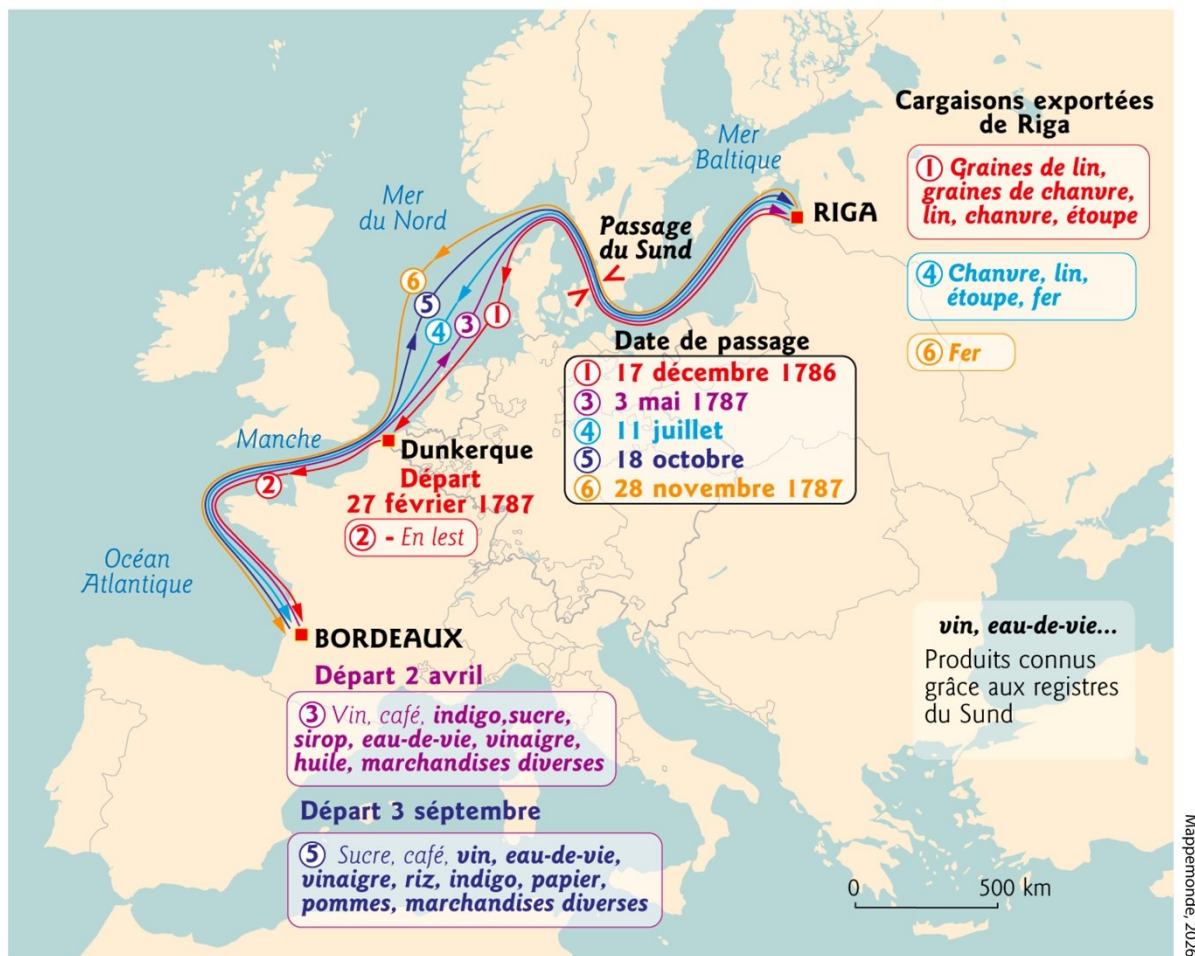
<sup>2</sup> Diagramme en violon (les auteurs n'ont pas rencontré la traduction française de ce terme technique).

En cartographie, de nombreux travaux établissent des typologies pour la représentation de l'incertitude des données (Beard et Mackaness, 1933 ; Clarke et Teague, 1998 ; Arnaud et Davoine, 2009 ; Kinkeldey *et al.*, 2014), et ceci dans leur dimension attributaire, spatiale ou temporelle. Nous remarquons que le procédé consistant à atténuer le signe graphique (point, ligne, polygone) en fonction de la certitude de sa réalisation se rejoue souvent à travers la représentation des marges d'erreur spatiales, et similairement pour la position ou la durée temporelle. Cependant, Cairo (2020) souligne que l'efficacité n'est pas toujours au rendez-vous, car le public ciblé ne comprend pas forcément ce que sous-tend comme réalité la représentation des écarts-types d'une distribution ; par ailleurs, même la lecture des graphiques n'est pas intuitive et nécessite un apprentissage : ils doivent donc s'accompagner de textes décrivant ce qui est représenté.

Cette remarque rappelle l'importance de connaître le public à qui est destiné le dispositif visuel, ainsi que son objectif. Dans notre cas, il s'agit d'abord, pour des historien·nes, de saisir visuellement la trajectoire suivie par un ou deux navires d'une façon similaire à celle qu'ils se donnent dans des atlas papier, dont la **figure 1** délivre un exemple. Connaissant des travaux antérieurs pour la cartographie de navigation ancienne (Ducruet, 2013), il s'agit de se concentrer sur des trajectoires individuelles et des flux non agrégés.

La problématique rencontrée n'est pas seulement celle de l'incertitude liée à la réalisation effective ou pas de certains tronçons, mais celle liée à la surcharge de l'information sur une même carte représentant des allers-retours, des chargements et déchargements de marchandises au cours de l'année 1787. Clairement, il s'agit donc de répondre aux impératifs de la clarté de représentation en termes d'incertitude, mais aussi d'exploiter les possibilités liées à l'interactivité (Antoni *et al.*, 2004) pour améliorer la lisibilité de cartes présentant un phénomène dynamique. L'interactivité permet notamment, via un curseur temporel, de mieux saisir l'ordonnancement des escales, tandis que l'usage d'infobulles associées aux tronçons, qui sont pour l'instant numérotés dans l'ordre de réalisation, pourrait alléger la carte des petits encarts présentant le détail des marchandises transportées. L'objectif est d'obtenir une animation présentant comme un film ce qui a possiblement pu se dérouler dans le passé, mais un film dont le scénario comporte des alternatives liées à l'incertitude de certains paramètres.

Figure 1. Carte extraite de Marzagalli et Pentsch (2023), page 46, représentant l'itinéraire du « Femmes et enfants » en 1787



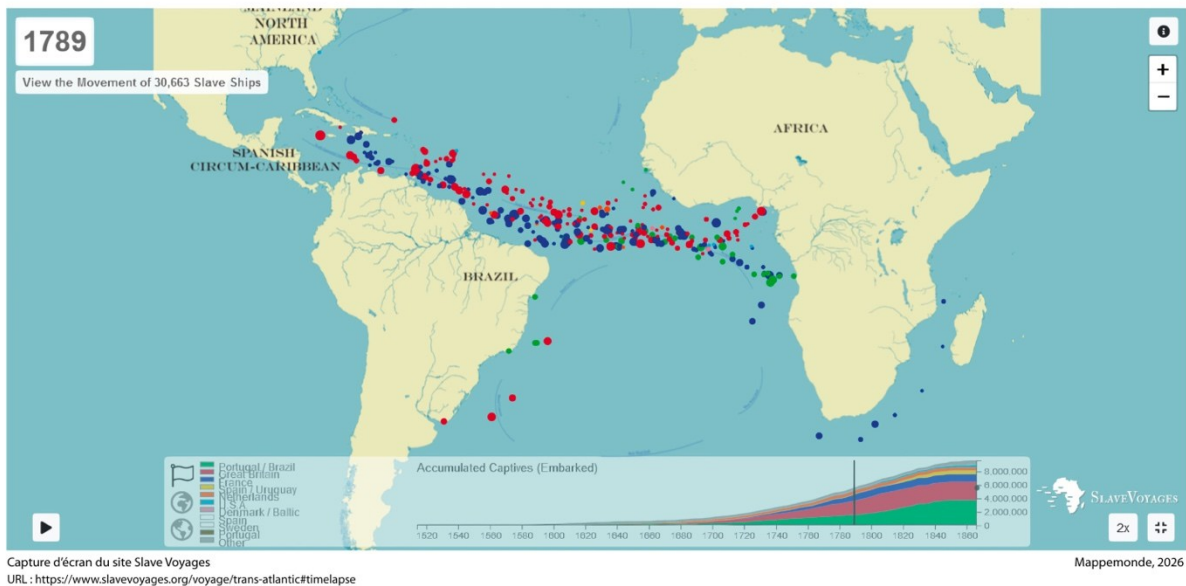
Réalisation : P. Pentsch (2023)

Carte initialement publiée dans l'ouvrage de M. Silvia (2023), *Atlas de la navigation en France à la veille de la Révolution. Une effervescence portuaire*, Rennes, PUR-Atlas, 224 p.

Reproduite avec l'aimable autorisation de l'auteure

En termes d'interactivité et de visualisation de trajectoires de navires, l'interface graphique Web associée à la base de données *SlaveVoyages* ([www.slavevoyages.org](http://www.slavevoyages.org)), qui a commencé à être constituée dans les années 1960-1970, représente un outil qui fait référence en Histoire pour l'étude de la traite négrière transatlantique. Le site *SlaveVoyages* permet, notamment, via la fonctionnalité « *Timelapse* », de visualiser la position approximative des négriers qui se trouvent en mer à un moment donné (**figure 2**). Le signe visuel associé à ces positions approximatives est un cercle plein, dont le diamètre exprime le nombre de captifs déportés pour esclavage par navire. Par ailleurs, si l'animation donne une sensation de mouvement en bougeant la position de chaque différent navire visible à un instant donné, les positions des différents points de passage de chaque navire ne sont pas reliées par des flèches.

Figure 2. Capture d'écran issue de [www.slavevoyages.org](http://www.slavevoyages.org), représentant les positions approximatives de négriers en 1789 sur « le passage du milieu » en fonction de leur pavillon (bleu pour les Français, rouge pour les Anglais et vert pour les lusophones)



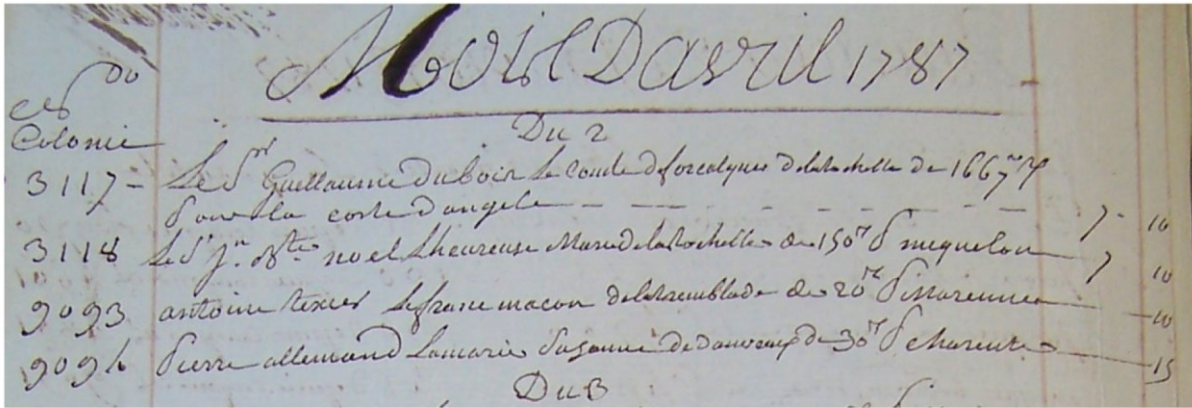
<https://www.slavevoyages.org/voyage/database#timelapse>

Peut-être la raison en est que, du fait du nombre important de navires observés concomitamment en mer en 1789 (**figure 2**), l'expression graphique de la matrice origine-destination correspondante serait absolument illisible (Bahoken *et al.*, 2016). Par ailleurs, les conseils développés dans Jenny *et al.* (2018) pour la représentation de matrices Origines-Destination sont pertinents : représenter avec des flèches courbes les segments reliant par la mer chaque escale semble un impératif auquel notre dispositif doit répondre.

Les usages conditionnent aussi la conception d'un dispositif interactif. Notre premier cas d'usage prévoit que l'utilisateur, historien-ne ou généalogiste, s'empare de l'interface pour retrouver l'itinéraire d'un navire mentionné dans ses sources. En exemple, des historien-nes, en lisant la biographie de Pierre Étienne Millié restituée dans le fascicule n° 47 de la revue « De la Seudre à la Charente » éditée par une société savante basée à Marennes<sup>3</sup>, pourraient retrouver le trajet emprunté par la « Jeune Rose » vers Saint-Domingue en 1787 sous la direction du capitaine Dubernet Léonard ou le départ vers l'Angola le 2 avril 1787 de La Rochelle du « Comte de Forcalquier » (retranscrit avec l'orthographe « Comtede Forcalyner » depuis notre source scannée, **figure 3**) sous la direction du capitaine Guillaume Dubois.

Figure 3. Le scan du registre de La Rochelle de la série G5, à la côte 132-2 montre le congé qui se déchiffre sur la ligne numérotée 3117, et permet saisir la difficulté de la retranscription

<sup>3</sup> <https://cths.fr/an/societe.php?id=2526>



Source : Registre de la Rochelle, série G5

Mappemonde, 2026

Le second cas d'usage porte sur la comparaison des trajectoires, deux par deux, afin de vérifier l'exactitude de l'identification attribuée aux entités nommées. Dans la base de données, les noms des navires ou des capitaines sont très proches, et c'est l'expertise qui a tranché pour l'attribution de tel ou tel identifiants à l'objet. Elle a toutefois pu se tromper. Pour un même identifiant, on retrouve donc fréquemment des orthographes légèrement divergentes (« Fidèle Marianne » ou « Fidèle Marie Anne »), et inversement, plusieurs identifiants d'objets (navire ou capitaine) peuvent être associés à une orthographe donnée : 113 documents sont associés à un nom de capitaine commençant par « Smith ». Il faut donc pouvoir extraire de la base de données ces trajectoires par le nom de ces derniers. Le domaine du traitement automatisé du langage ou de la recherche d'information a produit quantité de méthodes permettant de comparer et mesurer la ressemblance lexicale de chaînes de caractères (Boyack *et al.*, 2011 ; Recchia et Louwerse, 2013). Ces méthodes sont largement intégrées dans les outils de développement Web et de bases de données<sup>4</sup>. Ces approches permettent de proposer une fonction de complétion automatique sur une barre de recherche textuelle (en tapant les premiers caractères d'un nom qui existe dans la liste de choix) ou des recherches par expressions régulières, telles que proposées dans l'interface de *topomine*<sup>5</sup> (Mermet et Grosso, 2023).

## Conception et réalisation

En résumé, la conception doit répondre à deux enjeux, qui sont :

- présenter les itinéraires reconstitués à l'aide d'un dispositif sémiologique et interactif pertinent pour montrer l'incertitude liée à une ou deux trajectoires individuelles ;
- offrir une ergonomie satisfaisante à l'utilisateur en matière de recherche dans les données et tenant compte du temps de calcul et de chargement des informations dans une interface Web.

## Affichage des itinéraires

Dans notre cas, la représentation de l'incertitude d'un itinéraire est précisément liée, d'une part, à la cohérence de l'itinéraire et, d'autre part, à la fiabilité qu'on peut avoir en l'expertise qui propose et relie ensemble des sources déconnectées. Un travail de fond préalable à la visualisation a été d'abord

<sup>4</sup> <https://www.postgresql.org/docs/current/fuzzystrmatch.html>

<sup>5</sup> <https://app.ptm.huma-num.fr/topomine/>

de reconstituer les itinéraires en croisant les sources avec un fichier Origine-Destination par capitaine identifié, et un autre par navire identifié, permettant de qualifier chaque tronçon de trajectoire suivant un certain niveau de confiance. Celui-ci est porté par la variable *travel\_uncertainty*, qui combine les valeurs associées à *net\_route\_marker* pour chaque extrémité et qui constitue une variable catégorielle partiellement ordonnée, dont la **figure 4** produit l'arbre de décision associé. Elle distingue ce qui relève des faits déclarés par les sources au sujet d'un navire, qu'elles soient vérifiables ou non (déclarées correspondant à l'état indécidable), puis, si vérifiables, alors cohérentes ou non, donc confirmées, réfutées, ou controversées, de ce qui relève de la déduction (supposé) introduite seulement pour mieux appréhender l'enchaînement temporel des événements (comme la représentation des retours depuis les colonies ou Terre-Neuve).

Figure 4. Diagramme UML d'états

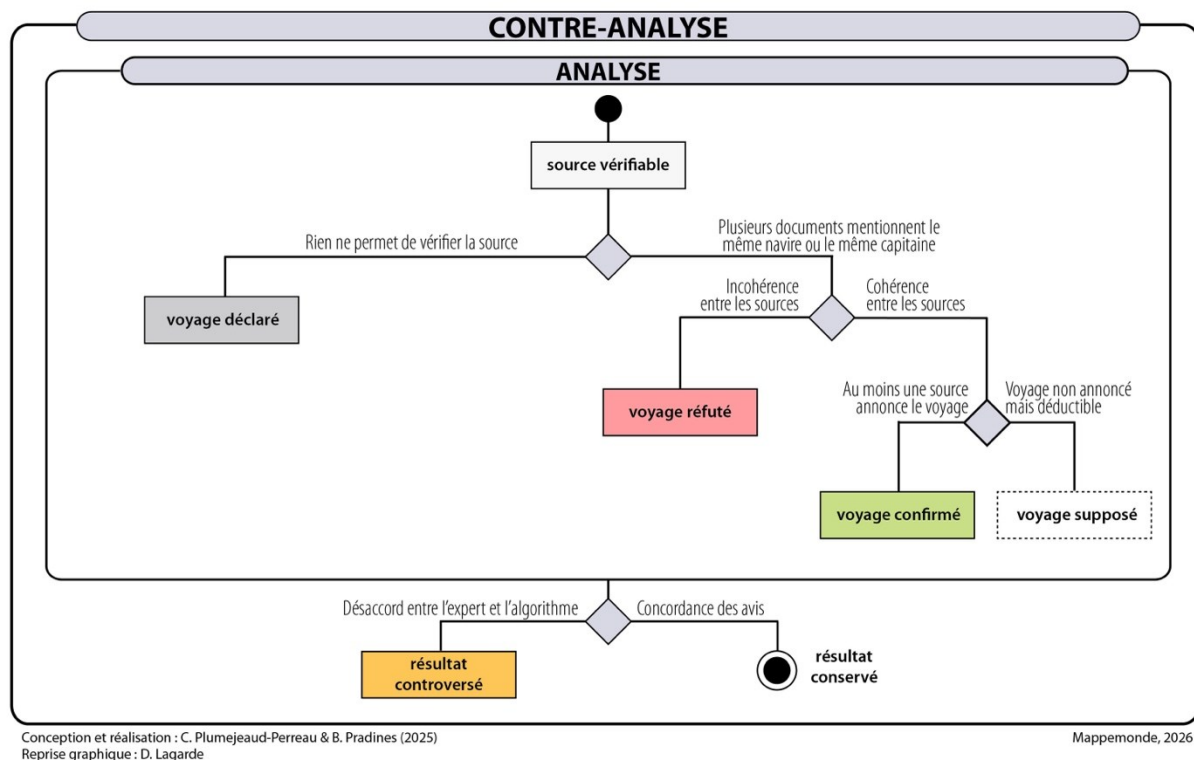


Diagramme colorisé (ce qui est non conforme au standard UML, mais peut faciliter la proposition sémiologique qui suit) distinguant les différentes valeurs de certitude sur la réalisation d'un tronçon maritime reliant deux escales dans les sources.

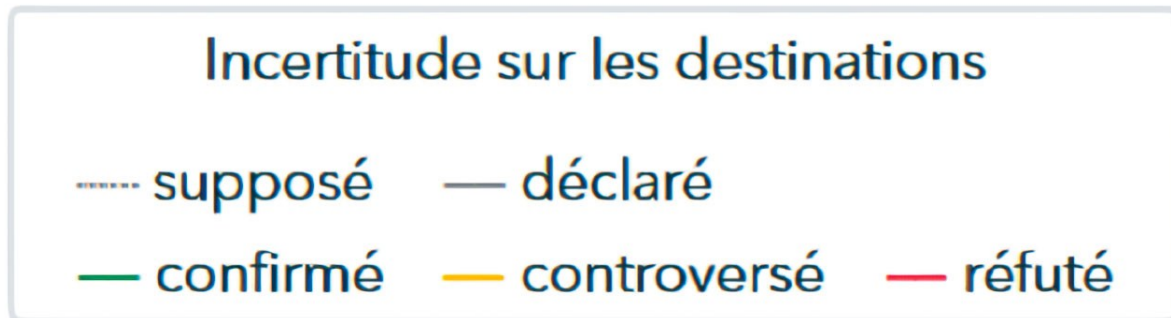
Pour le tracé des lignes, nous avons le choix entre les signes visuels suivants d'après l'état de l'art (Arnaud et Davoine, 2009) :

- les lignes en pointillés ou continues : les pointillés expriment une plus grande incertitude que les lignes continues ;
- niveaux d'opacité des lignes : la transparence des lignes exprime une plus grande incertitude ;
- niveau d'épaisseur des lignes : plus elles sont épaisses, plus elles sont sûres ;
- la couleur des lignes avec une variation de teinte sur une palette divergente.

Pour distinguer d'un coup d'œil la certitude des étapes, et du fait que la variable *travel\_uncertainty* représentée n'est que partiellement ordonnée, nous avons pris l'option de combiner couleur et type de trait (**figure 5**). Lorsque le tronçon est une déduction (comme un retour jamais déclaré dans les

sources, par exemple), il apparaît en pointillés et de la couleur correspondant au niveau de cohérence. Sinon, c'est un trait plein, qui est vert pour « confirmé », gris pour « déclaré », orange pour « controversé », rouge pour « réfuté ». Le gris, qui correspond à un trajet dont la vérification ne peut être assurée, est une couleur qui est perçue comme neutre par les historien·nes.

Figure 5. Légende décrivant la sémiologie des tronçons

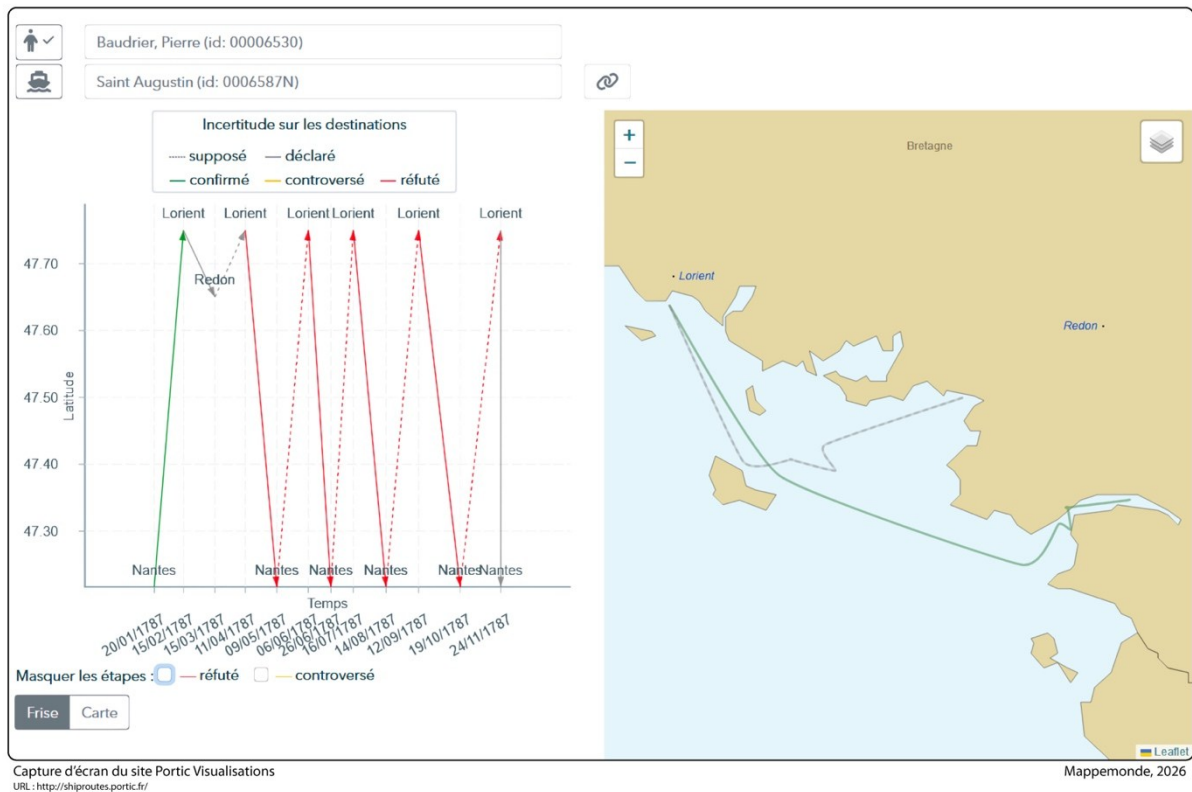


Crédits : C. Plumejeaud-Perreau & B. Pradines (2025)

Mappemonde, 2026

Par ailleurs, notre approche interactive correspond à celle promue par Shneiderman (1996) : « *Overview First, Zoom and Filter, and Details on Demand* » qui se traduit en français par « regarde la vue d'ensemble en premier, puis focalise via des filtres et puis récupère des détails si tu le souhaites ». La conjugaison et la coordination de différentes vues du même objet (une coupe temporelle et une vue spatiale matérialisée par la carte) peuvent répondre à la nécessité d'appréhender de façon globale une trajectoire. La **figure 6**, qui correspond à l'écran présenté à l'utilisateur, faisant suite à une recherche de trajectoire, montre comment le chronogramme et la carte sont juxtaposés pour produire une vue globale de l'étendue spatiale et temporelle de l'itinéraire, dans une vue « Frise ». Sur la carte interactive placée à droite dans l'écran, les tracés de chaque tronçon sont indiqués, sans flèche, et la carte est cadrée sur leur emprise maximale, afin de mieux saisir l'ensemble de l'espace parcouru par l'objet d'intérêt avec ses traces. Le fond de carte vectoriel présenté dans cette carte a la particularité de dessiner les limites des États de l'époque suivant la proposition de Plumejeaud-Perreau (2023), afin d'engager le lecteur dans une lecture historique du territoire correspondant à la temporalité des données de trajectoire (époque 1750 à 1789). Il existe encore beaucoup d'imprécisions et d'incertitudes sur ces limites que cette interface cartographique ne traite pas sur le plan sémiologique. Elle se concentre plutôt sur celles relative aux trajectoires pour lesquelles l'état de l'art a aussi montré l'importance de proposer des tracés vraisemblables, *i.e.* qui ne coupent pas tout droit à travers les terres. Pour adresser cette question de forme Plumejeaud-Perreau et Pradines (2023) mettent à disposition en *open source* un algorithme d'évitement d'obstacle permettant de précalculer sur le serveur les coordonnées géographiques de ces tronçons représentés en base de données sous la forme d'une courbe de type *linestring* reliant deux escales par la mer uniquement. Donc, dans la carte placée à droite dans l'écran, que ce soit la vue « Frise » ou la vue « Carte », les itinéraires empruntent tous un chemin maritime qui longe les côtes, comme dans l'ancienne navigation à voile, et utilisent la sémiologie en termes de couleur et de forme de trait précédemment expliquée (cf. **figure 5**).

Figure 6. Affichage synchronisé du chronogramme et carte de l'itinéraire du navire « Saint-Augustin » (identifiant 0006587N), piloté par Baudrier, Pierre dans <http://shiproutes.portic.fr><sup>6</sup>



Si la proposition cartographique est classique (réalisée avec Leaflet<sup>7</sup>, une bibliothèque JavaScript répandue), l'originalité de notre proposition réside plutôt dans le chronogramme interactif, tel que celui situé à gauche dans la **figure 6** dans la vue « Frise ». Il s'inspire directement de travaux d'historiens (Butil, 2003) et de géographes (André-Poyaud et Bahoken, 2010 ; repris dans Bahoken, 2017) qui ont proposé ce graphique statique pour analyser des trajectoires maritimes ou la circulation de migrants internationaux, sans toutefois intégrer leur réalisation dans une approche interactive comme nous le faisons. L'idée principale est de placer les différents événements (dans notre cas, ce sont des escales, alors que pour les géographes, ce sont des lieux de séjours en migration) dans un plan bi-dimensionnel, dont un des axes porte la dimension temporelle et l'autre la dimension géographique. Concernant la dimension géographique, et du fait que la plupart des voyages maritimes dans notre base de données se font en se translatant sur un axe nord-sud, nous avons choisi de remplacer la distance en kilomètres au lieu de départ par la position du port d'escale sur l'axe des latitudes. L'avantage de cette représentation est de favoriser une compréhension analytique du déroulement des étapes du voyage, avec un axe nord-sud qui s'organise graphiquement de façon similaire à celui présenté sur la carte à droite de la frise. L'accès à la visualisation des scénarios alternatifs se fait en cochant la case « réfuté » et/ou « controversé ».

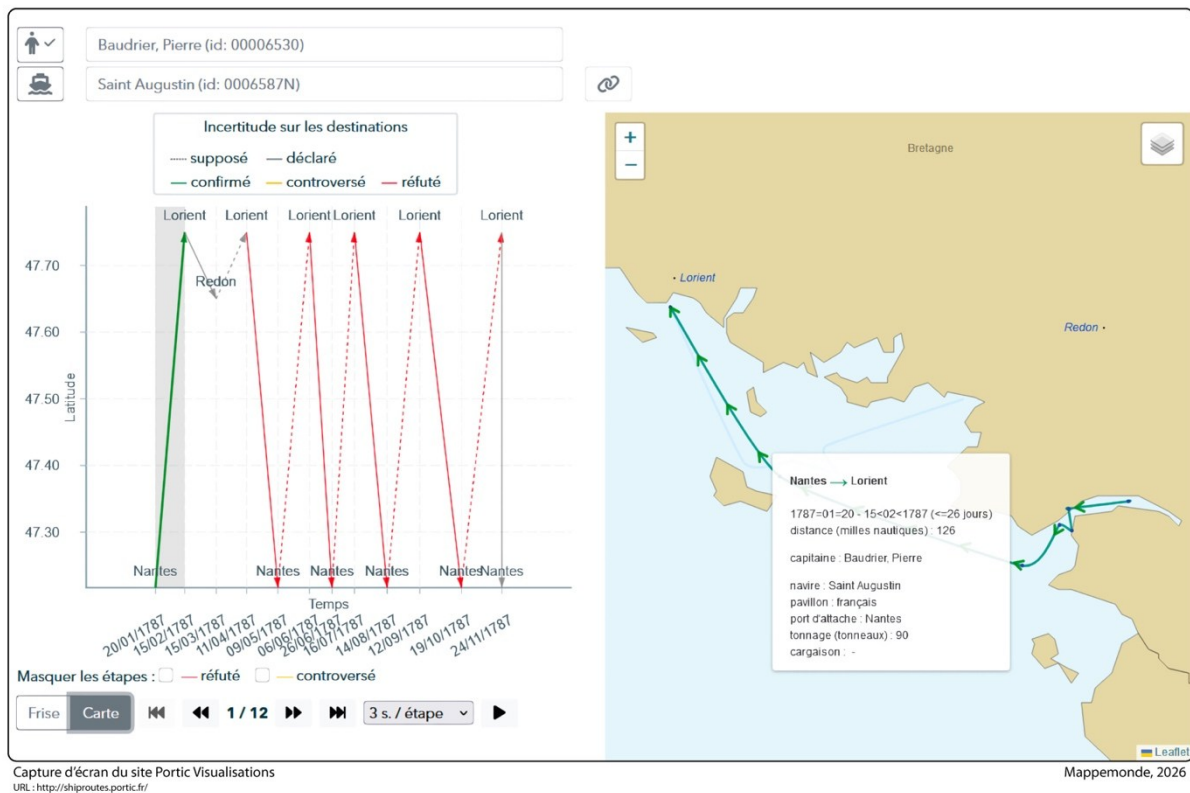
<sup>6</sup>

[http://shiproutes.portic.fr/index.html?by\\_captain=false&captain\\_id\\_1=00006530&ship\\_id\\_1=0006587N&filter\\_red\\_steps=true&filter\\_orange\\_steps=false](http://shiproutes.portic.fr/index.html?by_captain=false&captain_id_1=00006530&ship_id_1=0006587N&filter_red_steps=true&filter_orange_steps=false)

<sup>7</sup> <https://leafletjs.com/>

En basculant sur la vue « Carte », en **figure 7**, l'utilisateur accède à des détails, avec un zoom sur les tronçons qui sont habillés de flèches pour le sens parcouru à chaque étape, étapes qui se sélectionnent avec les boutons sous le chronogramme ou se font défiler automatiquement à une vitesse configurable. En déroulant le temps du voyage pas à pas, la carte se recadre automatiquement sur l'emprise du tronçon de navigation analysé et porte alors les informations de direction, ainsi que des surcharges interactives concernant la nature de la cargaison. À cet effet, les infobulles qui apparaissent en survolant les tronçons liés à chaque segment de navigation comportent la cargaison mentionnée par les sources (si présente) ainsi que la mention des dates de départ et d'arrivée sous un format original qui avait été validé par l'ANR Navigocorpus (Dedieu *et al.*, 2012), avec l'utilisation des signes lexicaux avant/après pour exprimer l'imprécision existante sur la datation des appareillages des navires ou capitaines.

Figure 7. Affichage détaillé d'une étape de l'itinéraire du navire « Saint-Augustin » (identifiant 0006587N), piloté par Baudrier, Pierre dans <http://shiproutes.portic.fr><sup>8</sup>



## Calcul et recherche des itinéraires

Pour répondre au second enjeu de cette géovisualisation sur le Web, il fallait pré-calculer en base de données l'ensemble des possibles trajectoires liées aux entités nommées que sont les capitaines ou les navires et qui constituent l'entrée de recherche principale. Les calculs de tracés maritimes, qui durent en moyenne deux minutes par tronçon, ont été pré-calculés sur le serveur (soit un total de

39 336 tronçons). Par ailleurs, le *gitlab*<sup>9</sup> d'Humanum assure une traçabilité complète des traitements transformant des listes d'escalas en matrices Origine-Destination. Aucun de ces traitements ne s'effectue à la volée lors de la recherche d'itinéraire dans la base de données. Au contraire, pour répondre aux enjeux de performances que requièrent l'interactivité sur le Web, le service des données se fait via une API<sup>10</sup> (Plumejeaud-Perreau *et al.*, 2023a) au-dessus de la base de données de manière à optimiser à la fois le temps de réponse et le volume de données échangées sur le réseau. La trajectoire est parfaitement incertaine, c'est-à-dire que l'objet géographique linéaire composé de tronçons que nous précalculons est une hypothèse, plausible, mais qui pourrait donner lieu à la modélisation d'une épaisseur de sa probabilité de réalisation. Nous avons choisi de ne pas entrer dans de tels détails, car l'objectif est d'abord de vérifier si l'ordonnement des escalas est cohérent et plausible pour chaque itinéraire. De même, notre public, aussi composé de généalogistes, n'est pas forcément habitué aux interfaces de géovisualisation et pour simplifier la charge cognitive portée par l'accès à cet écran, les trajets réfutés ou controversés sont masqués par défaut. Une fois que l'utilisateur comprend ce qu'il voit, il peut choisir de cocher des cases lui donnant accès aux alternatives possibles d'après le modèle de la trajectoire.

L'ergonomie requise côté client Web requiert une réflexion technique pour servir rapidement un maximum d'informations pré-calculées et nécessite aussi de s'éloigner de bibliothèques de codes existantes. Le menu de recherche (**figure 8**) illustre cela, car l'entité peut être recherchée par son identifiant ou par le nom le plus fréquemment mentionné dans les sources, de façon classique ; mais aussi par n'importe quelle variante orthographique de ce nom via l'emploi du caractère espace qui remplace n'importe quelle suite de caractères et initie une recherche par expression régulière, de façon plus simple que ne le fait *topomine* (Mermet et Grosso, 2023). L'implémentation *ad hoc* de cette recherche qui fonctionne sur 21 386 variantes de noms de capitaines et 6 583 variantes de noms de navires permet d'atteindre un temps de réaction inférieur à la seconde sur toute recherche. La présentation des résultats distingue, en gras, les noms les plus fréquemment employés pour le même identifiant des variantes trouvées dans les sources et auxquelles l'identifiant correspondant a été attribué.

Figure 8. Interface de recherche de capitaine par nom proche : « Baudr Pi » permet de trouver toutes les variantes de noms de capitaines contenant Baudr et Pi

---

<sup>9</sup> <https://gitlab.huma-num.fr/portic/navigocorpus>

<sup>10</sup> *Application Programming Interface*, <https://api.gouv.fr/guides/api-definition>

Recherche de parcours par capitaine

Rechercher un capitaine dans la liste : Par nom Par nom (ou variante du nom) Par id

Mots à rechercher : Baudr Pi

5 résultats trouvés

- id:00006530 Baudrier, Pierre
- id:00006530 Baudrier, Pierre
- id:00006530 Baudriere, Pierre (Baudrier, Pierre)
- id:00006530 Baudriec, Pierre (Baudrier, Pierre)
- id:00003333 Baudry, Pierre Morel

Cliquez sur un résultat pour voir les parcours trouvés. Sélections multiples possibles (Ctrl+clic : ajout / suppression; Shift+clic : plage)

2 parcours trouvés Plus de détails Filtrer

Cochez la case d'un parcours pour le sélectionner :

Capitaine	Navire	Parcours	
Nom ^	Nom ^	Début	Fin
<input type="checkbox"/> Baudrier, Pierre	Saint Augustin	1787-01-20	1787-11-24
<input type="checkbox"/> Baudry, Pierre Morel	James	1787-01-16	1787-01-16

Page 1 sur 1

Allez à la page 1

5 lignes par page

aucun parcours sélectionné Annuler

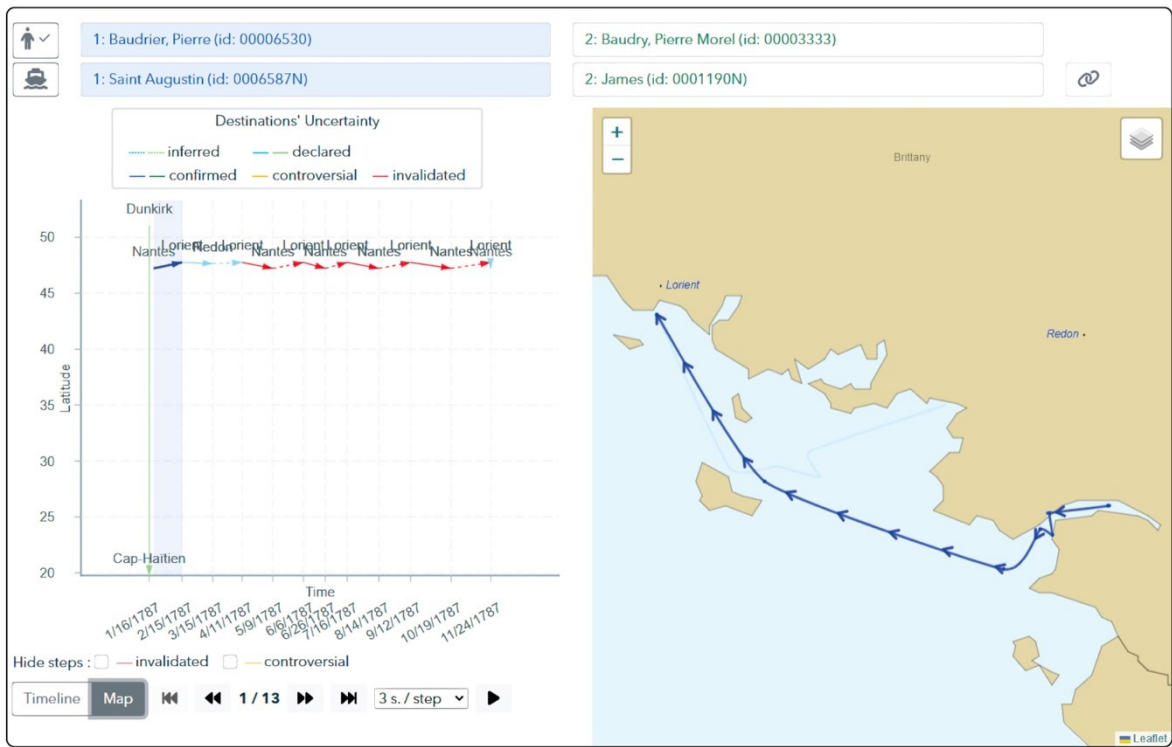
Capture d'écran du site Portic Visualisations  
URL : http://shiproutes.portic.fr/

Mappemonde, 2026

La boîte de dialogue visible en **figure 8** affiche dans sa partie basse les différents itinéraires parcourus par les capitaines trouvés. L'utilisateur y coche maintenant un ou deux itinéraires à visualiser et analyser au maximum, pour leur comparaison éventuelle. La boîte de dialogue de recherche d'itinéraire est un objet flottant qui se referme et n'envahit pas l'espace de l'écran pour l'analyse. L'application est conçue pour fonctionner plutôt sur un ordinateur avec un écran de 15 pouces minimum, et non pas un smartphone, même si nous utilisons les bibliothèques de conception adaptative (*responsive design*) du domaine.

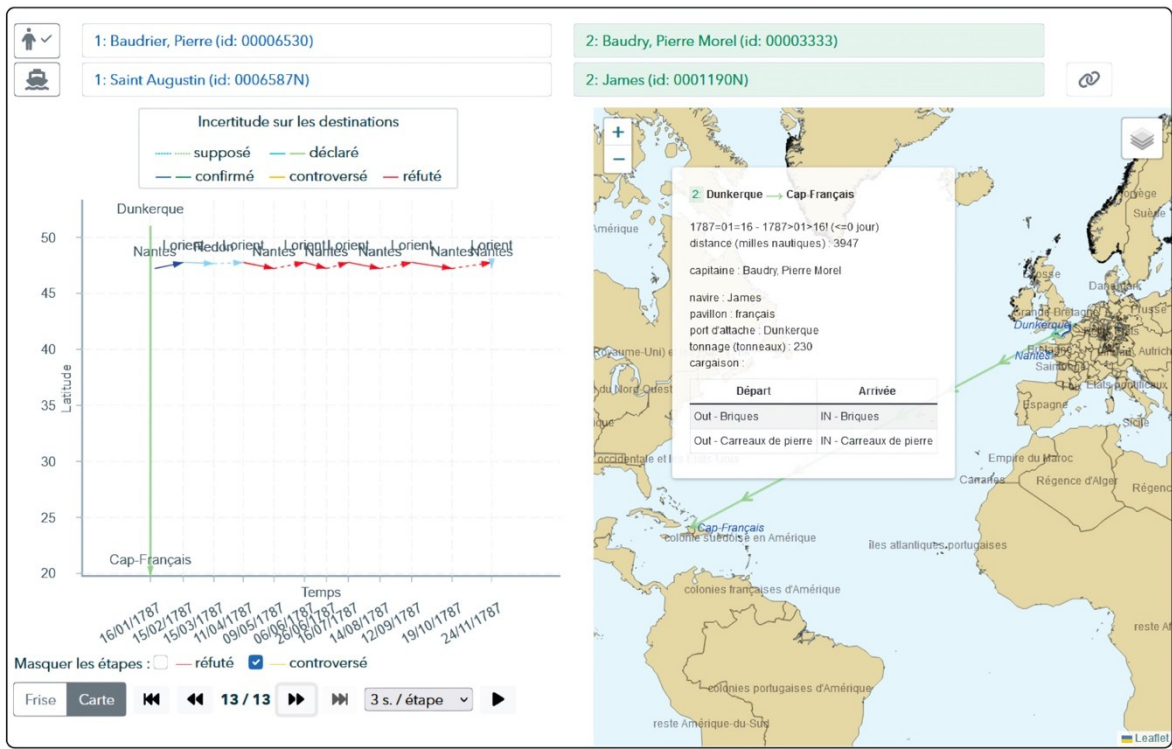
Pour la comparaison d'itinéraires, comme présenté en **figures 9** et **10**, la sémiologie proposée a été adaptée pour utiliser la couleur comme indice de l'identification de l'entité. L'itinéraire du capitaine Baudrier Pierre d'identifiant 00006530 est présenté à gauche et il démarre le 20 janvier 1787 de Nantes à Lorient. Il est ensuite vu à Lorient, ce qui confirme l'itinéraire, mais cette partie confirmée se dessine en bleu *soutenu*, au lieu du vert soutenu présenté en **figure 5**. Il part ensuite pour Redon, ce qui n'est pas vérifiable, et il est indiqué en bleu *clair* au lieu du gris de la **figure 5**. Quant au capitaine Baudry Pierre Morel qui part seulement quatre jours avant Baudrier Pierre, l'analyse ne laisse pas de place au doute : ils sont forcément différents, car Baudry Pierre Morel ne pourrait pas être de retour de Cap Français à temps pour partir de Nantes et il navigue sur un navire au nom très différent du premier, avec une cargaison connue et détaillée. Le tronçon vert *clair* indique la teneur invérifiable (déclarée) de cet itinéraire.

Figure 9. Trajet de Baudrier Pierre qui cabote en Bretagne sur le Saint-Augustin



[http://shiproutes.portic.fr/index.html?by\\_captain=true&captain\\_id\\_1=00006530&ship\\_id\\_1=0006587N&captain\\_id\\_2=00003333&ship\\_id\\_2=0001190N&filter\\_red\\_steps=false&filter\\_orange\\_steps=false](http://shiproutes.portic.fr/index.html?by_captain=true&captain_id_1=00006530&ship_id_1=0006587N&captain_id_2=00003333&ship_id_2=0001190N&filter_red_steps=false&filter_orange_steps=false)

Figure 10. Trajet de Baudry Pierre Morel qui navigue vers le Cap-Français sur le James



[http://shiproutes.portic.fr/index.html?by\\_captain=true&captain\\_id\\_1=00006530&ship\\_id\\_1=0006587N&captain\\_id\\_2=00003333&ship\\_id\\_2=0001190N&filter\\_red\\_steps=false&filter\\_orange\\_steps=false](http://shiproutes.portic.fr/index.html?by_captain=true&captain_id_1=00006530&ship_id_1=0006587N&captain_id_2=00003333&ship_id_2=0001190N&filter_red_steps=false&filter_orange_steps=false)

## Discussion et perspectives

Nous essayons de démontrer à quel point la connaissance fine du corpus ainsi que la mobilisation d'une grande créativité sont essentielles pour aboutir à une proposition graphique et interactive clarifiant l'incertitude d'un corpus difficile, comme tant d'autres. L'outil de géovisualisation proposé, disponible en ligne (<http://shiproutes.portic.fr>), fondé sur un code reproductible et libre (code du client riche sur <https://gitlab.huma-num.fr/portic/shiproutes>, et code du serveur sur <https://gitlab.huma-num.fr/portic/porticapi>) permet facilement de retrouver le *Comtede Forcalyner*<sup>11</sup>, par exemple. Il est cependant très adapté aux particularités de notre corpus et n'adresse pas toutes les dimensions de l'incertitude qu'il comporte, en particulier l'incomplétude ou l'imprécision de ces données.

Afin de montrer son utilité à d'autres, soulignons que notre proposition de coupler une carte et un chronogramme interactif pour explorer les différents scénarios issus d'une modélisation peut se décliner pour l'étude du changement climatique, des risques sociaux et géopolitiques, par exemple. Un usage approprié de l'interactivité du Web permet ainsi un retour et une analyse critique sur l'interprétation faite de données incertaines.

Mais notre expérience conduit aussi à formuler quelques avertissements à ceux qui souhaiteraient s'engager sur la voie de la cartographie interactive sur le Web (et donc programmée) de corpus de données incertaines. L'interactivité est un atout (Antoni *et al.* 2004) pour souligner les incertitudes liées aux informations à visualiser, et en particulier la cartographie interactive sur le Web. C'est un atout, car elle permet d'alléger la charge cognitive visuelle et d'entrer dans un processus descendant d'analyse suivant des préceptes promus de longue date (Shneiderman, 1996). Également, l'interactivité permet de mettre en scène plusieurs alternatives pour les comparer. Cependant, les dispositifs technologiques sont assez fragiles et difficiles à développer, d'une part, et, d'autre part, ils requièrent une préparation et qualification très fine des données afin de proposer des visualisations adaptées. Il nous semble important de souligner que le succès d'une proposition de géovisualisation sur le Web réside à la fois dans la modélisation en amont des données et de l'interface, mais aussi dans la prise en compte des contraintes techniques. Il n'existe pas de solution facilement accessible, et il faut lire et adapter à chaque cas d'usage les propositions sémiologiques intéressantes dont regorge le domaine de la visualisation de données ou de la cartographie pour tenir compte de l'incertitude des données (MacEachren *et al.*, 2005). Ces propositions, qui sont par ailleurs de plus en plus complexes, en promouvant par exemple une approche mixte incluant textes, sons et graphiques pour mieux faire saisir l'incertitude liée aux informations présentées (Stokes *et al.*, 2024), vont de plus en plus requérir des collaborations interdisciplinaires.

### Bibliographie

ANDRE-POYAUD I., BAHOKEN F. (2010). *Améliorer la compréhension des pratiques de circulation à l'échelle biographique : une contribution (carto)graphique*. Séminaire de restitution des résultats du

---

11

[http://shiproutes.portic.fr/index.html?by\\_captain=false&captain\\_id\\_1=00009503&ship\\_id\\_1=0009151N&filter\\_red\\_steps=true&filter\\_orange\\_steps=false](http://shiproutes.portic.fr/index.html?by_captain=false&captain_id_1=00009503&ship_id_1=0009151N&filter_red_steps=true&filter_orange_steps=false)

Projet ANR-MEREV, Université de Lisbonne, Faculté des Lettres, Centre d'études géographiques (CEG-IGOT), Lisbonne, 08/07/2010.

ANTONI J.-P., KLEIN O., MOISY S. (2004). « Cartographie interactive et multimédia : vers une aide à la réflexion géographique ». *Cybergeog : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, document 288, mis en ligne le 21 octobre 2004, consulté le 5 mars 2024. En ligne : <http://journals.openedition.org/cybergeog/2621>

ARNAUD A., DAVOINE P.-A. (2009). "Approche cartographique et géovisualisation pour la représentation de l'incertitude". *Actes du colloque SAGEO 2009*. Paris, France, p. 12.

BAHOKEN F., LAGESSE C., DUCRUET C. (2016). « L'approche cartographique de la représentation du mouvement spatial. L'exemple des flux commerciaux maritimes euro-méditerranéens ». *Actes du colloque SAGEO 2016*, Nice, 6-9 décembre, p. 44-60.

BAHOKEN F. (2017) « Propositions pour une formalisation (carto)graphique des mobilités individuelles. L'exemple d'un récit biographique ». *Actes du colloque EUGEO 2017*, Bruxelles, 4-6 septembre 2017. En ligne : <https://shs.hal.science/halshs-02937174v1>

BAHOKEN F., COME E., JEGOU L., ROELANDT N. (2021). « Arabesque, une application d'exploration et de visualisation de flux dans le geoweb ». *Actes du colloque « Tous (im)mobiles, tous cartographes ? Cartomob »*, Université Gustave Eiffel, juin 2021, Toulouse, France. En ligne : <https://hal.science/hal-04411623v1/document>

BEARD K., MACKANESS W.A. (1993). "Visual access to data quality in geographic information systems". *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* n° 30, p. 37-45.

BONNEAU G.-P., HEGE H.-C., JOHNSON C. R., OLIVEIRA M. M., POTTER K., RHEINGANS P., SCHULTZ T. (2014). "Overview and State-of-the-Art of Uncertainty Visualization". In HANSEN C. D., CHEN M., JOHNSON C. R., KAUFMAN A. E., HAGEN H. (éd.), *Scientific Visualization: Uncertainty, Multifield, Biomedical, and Scalable Visualization*. Londres : Springer, p. 3-27.

BOYACK K. W., NEWMAN D., DUHON R. J., KLAVANS R., PATEK M., BIBERSTINE J. R., SCHIJVENAARS B., SKUPIN A., MA N., BORNER K. (2011). "Clustering more than two million biomedical publications: Comparing the accuracies of nine text-based similarity approaches". *PLoS ONE* 6, e18029.

BUTTENFIELD B., GANTNER J. (1990). "Visualization and GIS: what should we see? what might we miss". *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*. p. 307-316.

BUTIL G. (2003). « Cabotage et caboteurs de la France méditerranéenne (XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> s.) ». *Rives nord méditerranéennes*, n° 13, p. 75-91. En ligne : <https://journals.openedition.org/rivesnm/164>

CAIRO A. (2020). "Uncertainty and graphicacy: How should statisticians, journalists, and designers reveal uncertainty in graphics for public consumption?" In KLANTEN R., KOUZNETSOVA A., ERREA J., CAIRO A. (éd.), *Visual journalism: infographics from the world's best newsrooms and designers*, 2<sup>e</sup> éd., Berlin : ed. Gestalten.

CLARKE K., TEAGUE P. (1998). "Cartographic symbolization of uncertainty". *Proceedings of American Congress on Surveying and Mapping Annual Conference*. Baltimore.

DEDIEU J.-P., MARZAGALLI S., POURCHASSE P., SCHELTJENS W. (2012). "Navigocorpus at Work: A Brief Overview of the Potential of a Database". *International Journal of Maritime History*, vol. 24, n° 1, p. 331-360.

DEVILLERS R., JEANSOULIN R. (2005). *Qualité de l'information géographique*. Paris : Hermès Lavoisier, 348 p.

DEVILLERS R., DESJARDIN E., RUNZ E. DE (2019). « Concepts et terminologies de l'imperfection de l'information géographique ». In BATTON-HUBERT M., PINET F., DESJARDIN E. (éd.), *L'imperfection des données géographiques 1*. Londres : ISTE, p. 13-27.

DUCRUET C. (2013). « Histoire maritime et cartes en ligne, du XVI<sup>e</sup> au XXI<sup>e</sup> siècle ». *Mappemonde*, n° 109. En ligne : <https://mappemonde-archivemgm.fr/num37/internet/int13101.html>

FISHER P., COMBER A., WADSWORTH R. (2006). "Approaches to Uncertainty in Spatial Data". In DEVILLERS R., JEANSOULIN R. (éd.), *Fundamentals of Spatial Data Quality*, Londres : ISTE, p. 43-59.

GITELMAN L. (2013) *"Raw Data" is an Oxymoron*. Cambridge : The MIT Press. 192 p.

GRIFFIN A.L. (2020). "Trustworthy maps". *JOSIS*, n° 20, p. 5-19.

HARROWER M. (2003). "Representing Uncertainty: Does it Help People Make Better Decisions". *Proceedings of the University Consortium for Geographic Information Science Workshop on Geospatial Visualization and Knowledge Discovery*, Lansdowne, Virginia, USA.

HULLMAN J., QIAO X., CORRELL M., KALE A., KAY M. (2019). "In Pursuit of Error: A Survey of Uncertainty Visualization Evaluation". *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, vol. 25, n° 1, p. 903-913.

ISO/TC 211 (2023). *Information géographique. Qualité des données*. En ligne : <https://www.iso.org/fr/standard/78900.html>

JEANSOULIN R., PAPINI O., PRADE H., SCHOCKAERT S., éd., (2010). *Methods for Handling Imperfect Spatial Information*. Berlin/Heidelberg : Springer, coll. « Studies in Fuzziness and Soft Computing », 380 p.

JEGOU L. (2017). « Une carte animée du trafic des transports en commun de grandes villes du monde ». *Mappemonde*, n° 122. En ligne : <https://journals.openedition.org/mappemonde/565>

JENNY B., STEPHEN D. M., MUEHLENHAUS I., MARSTON B. E., SHARMA R., ZHANG E., JENNY H. (2018). "Design principles for origin-destination flow maps". *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 45, n° 1, p. 62-75.

KAMAL A., DHAKAL P., JAVAID A. Y., DEVABHAKTUNI V. K., KAUR D., ZAIENTZ J., MARINIER R. (2021). "Recent advances and challenges in uncertainty visualization: a survey". *Journal of Visualization*, vol. 24, p. 861-890.

KINKELDEY C., MACÉACHREN A. M., SCHIEWE J. (2014). "How to Assess Visual Communication of Uncertainty? A Systematic Review of Geospatial Uncertainty Visualisation User Studies". *The Cartographic Journal*, n° 51, p. 372-386.

LECOMTE C., VALLEE J., LE ROUX G., COMMENGES H. (2018). « Le Mobiliscope, un outil de géovisualisation des rythmes quotidiens des métropoles ». *Mappemonde*, n° 123. En ligne : <https://journals.openedition.org/mappemonde/522>

MACÉACHREN A.M., ROBINSON A., HOPPER S., GARDNER S., MURRAY R., GAHEGAN M., HETZLER E. (2005). "Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know." *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 32, n° 3, p. 139-160.

MARZAGALLI S., PENTSCH P. (2023). *Atlas de la navigation en France à la veille de la Révolution*. Rennes : PUR, coll. « PUR-Atlas », 224 p.

MERMET E., GROSSO E. (2023) *Topomine : une application web d'exploration itérative de la toponymie française*. En ligne : <https://shs.hal.science/halshs-03931476/>

PANG A. T., WITTENBRINK C. M., LODHA S. K. (1997). "Approaches to uncertainty visualization". *The Visual Computer*, vol. 13, p. 370-390.

PINET F., RUNZ C. DE (2019). « Représentation des diagrammes d'objets géographiques imparfaits ». In BATTON-HUBERT M, DESJARDIN E., PINET F., *L'imperfection des données géographiques. 1. Bases théoriques*. Londres : ISTE, p. 117-126. ISBN 978-1-78405-624-7

PINET F. (2024). *L'imperfection des données géographiques. 2. Cas d'utilisation*. 1<sup>re</sup> éd. Londres : ISTE.

PLUMEJEAUD-PERREAU C., MARZAGALLI S., SOFIA P. N., MOURAT R. DE (2023b). « Curation en interdisciplinarité d'une base de données historique : de *Navigocorpus* à *Portic*, ou de la qualification de l'incertitude ». *Histoire & Mesure*, vol. 38, p. 39-71.

PLUMEJEAUD-PERREAU C. (2023). "Handling imperfection of spatial knowledge for the study of French maritime places dynamics along the 18th century". *Proceedings of the "7th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Geospatial Humanities*. Présentation, "SIGSPATIAL '23: The 31st ACM International Conference on Advances in Geographic Information Systems", ACM, Hamburg Germany, p. 48-51.

PLUMEJEAUD-PERREAU C., PRADINES B. (2023). « Cartographe des trajectoires maritimes incertaines du XVIII<sup>e</sup> siècle ». *Actes de la conférence SAGEO 2023*, Montréal, Canada.

PLUMEJEAUD-PERREAU C., GEOFFROY G., PRADINES B. (2023a). *Portic data API*. En ligne : <https://hal.science/hal-04019250v1>

RUNZ C. DE (2008). *Imperfection, temps et espace : modélisation, analyse et visualisation dans un SIG archéologique*. Thèse de doctorat en informatique, Reims : Université de Reims, 230 p.

STOKES C., SANKER C., COGLEY B., SETLUR V. (2024). "Mixing Modes: Active and Passive Integration of Speech, Text, and Visualization for Communicating Data Uncertainty". *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) 2024*. arXiv. En ligne : <https://arxiv.org/abs/2404.08623>

RECCHIA G., LOUWERSE M. (2013). "A Comparison of String Similarity Measures for Toponym Matching". *Proceedings of The First ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Models of Place - COMP '13*. Orlando FL, USA : ACM Press, p. 54-61.

SHNEIDERMAN B. (1996). "The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations". *Proceedings 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, Boulder, CO, USA, p. 336-343.

THOMSON J., HETZLER E., MACEACHREN A., GAHEGAN M., PAVEL M. (2005). "A typology for visualizing uncertainty. In ERBACHER R. F., ROBERTS J. C., GROHN M. T., BORNER K. (éd.), *Proceedings of SPIE 5669, Visualization and Data Analysis*. San Jose, CA, USA p. 146.

Ce projet est soutenu par le programme UP-SQUARED de l'Université de Poitiers (ANR-21-EXES-0013), financé par France2030 et son Programme d'Investissement d'Avenir 4 (PIA4) « ExcellencES dans tous ses états ». Les recherches de PORTIC ont également été financées par l'Agence Nationale de la Recherche, sous le code de programme ANR-18-CE-38-0010, entre 2019 et 2023.