

Visualiser des données météorologiques. Représentations des phénomènes atmosphériques

CHIARA RUBESSI

Université Grenoble Alpes
chiara.23@alice.it

Mots clés

Météorologie
Forme visuelle
Visualisation de données
Représentation
Phénoménologie

Abstract

La technologie de visualisation des données a rendu de nombreuses bases de données visibles et intelligibles, et la question de l'accès, de l'analyse, de l'utilisation et de la visualisation des données est l'un des problèmes de la société numérique. Dans cette perspective, la représentation des phénomènes et conditions météorologiques soulève une série de questions sur les modalités de visualisation adoptées. Comment sont représentées les données des phénomènes météorologiques ? A partir de cette question, la contribution vise à analyser certaines représentations en 2D de la météorologie à travers l'outil de la visualisation de données afin d'observer la manière dont les phénomènes atmosphériques s'enracinent dans la médiation technologie.

En 2018, une équipe de scientifiques a remporté le prix Gordon Bell¹ pour avoir conçu un modèle de *deep learning* capable de révéler des informations détaillées sur les événements météorologiques extrêmes qui étaient auparavant perdues dans les données météorologiques collectées. Les scientifiques ont utilisé un superordinateur équipé d'une unité de traitement graphique (GPU) efficace pour manipuler les interfaces graphiques et le traitement des images.

Bien que l'apprentissage profond soit un moyen établi dans l'analyse d'images, son utilisation en tant qu'outil de découverte scientifique, et en particulier pour des données complexes telles que les données climatiques, est relativement nouvelle (Russell, Norvig 2021). L'apprentissage profond (ce qui en fait un outil important pour l'analyse du *big data*), à comprendre comme une branche de l'intelligence artificielle, est un apprentissage machinique réalisé à l'aide de plusieurs couches d'éléments informatiques simples et ajustables (Ibidem).

Dans le domaine de la météorologie avancée, un certain nombre de facteurs, tels que l'augmentation de la densité d'observation et la diversité des sources de données, ont conduit à une augmentation de la taille et de la complexité des *big data*² et, par conséquent, à des défis plus importants pour leur visualisation et leur compréhension dans la science météorologique. Ce phénomène fait partie d'un horizon culturel par lequel nous imaginons et construisons des réalités. Comme le dit Niklas Luhmann, "la technologie est un phénomène de simplification fonctionnelle, c'est-à-dire une forme de réduction de la complexité qui peut être construite et réalisée même si le monde et la société dans lesquels le phénomène se produit sont inconnus" (Luhmann 1998: 6-7). En effet, la prévision d'un processus atmosphérique spécifique a un impact sur les décideurs, tels que les gouvernements, les entreprises et les médias qui s'appuient sur ce processus pour comprendre la réalité.

L'avancée significative des technologies informatiques dans le domaine du climat et la visualisation des données – entendue comme une représentation graphique qui vise à rendre les données lisibles afin d'en comprendre le contexte et le sens (Halpern 2014) – renforce la question de l'accès, de l'analyse, de l'utilisation et de la représentation, ouvrant des enjeux dans la société numérique contemporaine (McCandless 2012). En effet, les stratégies de représentat-

ion des données nous permettent de saisir des relations, des rapports et des évidences qui ne se seraient peut-être pas manifestés sans l'élaboration de signes graphiques appropriés à leur affichage. La visualisation de données transforme un ensemble d'informations complexes en une représentation visuelle, parfois attrayante et suggestive (Rubessi 2021).

Compte tenu de ces prémisses, nous souhaitons contribuer dans cet article, certainement pas de manière exhaustive, à analyser certaines représentations en 2D de la météorologie à travers l'outil de la visualisation de données afin d'observer la manière dont les phénomènes atmosphériques s'enracinent dans la médiation technologique (Latour 2000). L'utilisation du *big data* impacte donc les stratégies de visualisation; les planificateurs et les ingénieurs tentent d'utiliser les données générées par ces systèmes pour révéler certains détails climatiques afin d'améliorer la compréhension des changements climatiques.

Si notre sensibilité, comme l'explique Montani, "a atteint un gradient d'externalisation technique si élevé qu'elle est désormais tout à fait disposée à autoriser une délégation technique sans réserve" (Montani 2014: 17-18), les formes que prennent les phénomènes atmosphériques sont révélatrices de représentations sensibles du changement climatique qui ont un impact sur la visibilité (Calvino 2016) des questions environnementales en contribuant à leur affichage et à leur interprétation.

Dans un premier temps, nous envisagerons la nature de la visualisation de données. Ensuite, nous allons nous concentrer sur la visualisation de la météorologie pour comprendre comment certains phénomènes atmosphériques sont représentés.

Visualisation des données

La visualisation de données, dans un sens général, vise à représenter un certain nombre de données collectées et analysées. Comme l'affirme Halpern (2014: 94), "la visualisation de données est de plus en plus reconnue comme une forme significative d'expression créative transformée en environnement et en processus par un nouveau sens computationnel". Par conséquent, les visualisations de données représentent des éléments, des sujets et des événements du monde physique par le biais d'interprétations graphiques de données générées par une enquête ou une recher-

che (Bihanic 2014). Les graphiques informatiques ont donné une forte impulsion à la visualisation de données qui ont d'abord été collectées, puis encodées et ensuite représentées grâce à l'utilisation de formes et signes graphiques (Bertin 2013). En effet, les technologies créatives permettent l'analyse et l'exploration de données en configurant, par exemple, une carte des arbres dans les grandes villes du monde dans le projet *Treepedia* mis en place par le Senseable City Lab-MIT dirigé par Carlo Ratti.³ Dans ce projet est visualisée la végétation urbaine (les arbres de rue) dans les villes afin de sensibiliser les individus sur l'aménagement des espaces verts urbains qui contribue à abaisser les températures urbaines en bloquant le rayonnement à ondes courtes et en augmentant l'évaporation de l'eau.

Lorsque les données à visualiser ont une dimension physique, on parle de visualisation scientifique (Hansen, Johnson 2004). Cette dernière s'attelle à visualiser des phénomènes naturels (voir l'invisible) ou des expériences scientifiques dans le but de comprendre et d'assimiler des informations par le biais de mécanismes perceptifs (McCormick 1987). La visualisation scientifique est la discipline qui fournit des techniques et des méthodes de calcul pour créer des représentations visuelles et interactives de données afin d'amplifier nos capacités cognitives (Marmo, Valle, Zannoni 2005). Dans cette perspective, la visualisation des données météorologiques, qui est basée sur la réalité physique, fait appel à des méthodes de visualisation scientifique comme les données vectorielles définies dans un volume (*streamlines*) où une densité de données est représentée par des courbes de champs vectoriels servant à modéliser par exemple la vitesse et la direction du vent dans l'atmosphère (Ibidem).

Le processus de visualisation des données se situe à mi-chemin entre l'analyse des données (principalement statistiques, mais pas seulement) et la représentation graphique (conception graphique de l'information); les concepteurs indiquent les formes graphiques à reproduire sur la base d'images ou de modèles qui doivent activer une communication visuelle immédiate et globale afin d'en saisir le sens et de fournir un aperçu de ce qu'il représente. À cet égard, Halpern (2014: 21) considère la visualisation de données non seulement comme un processus, mais aussi "comme un objet, un sujet et une discipline, une

vocation, un marché et une épistémologie". Suivant la pensée de Halpern, la visualisation de données est de plus en plus reconnue comme une forme significative d'expression rendue un environnement et un processus à travers un nouveau sens computationnel.

Dans le contexte des études météorologiques, en 1988, le météorologue McIntyre a soutenu que la perception visuelle humaine – comprise comme un processus mental visant à convertir les données sensorielles en concepts ayant un sens – est la plus puissante des interfaces de données entre les ordinateurs et les humains (Rautenhaus et al. 2017). Nous pouvons donc envisager la visualisation selon deux définitions distinctes mais liées. La première s'inscrit dans l'action de voir, au moyen de la fonction visuelle, la représentation finale des données. La seconde, en revanche, concerne la production des données. Le processus de production des données à visualiser est un mécanisme complexe qui nécessite un filtrage et une abstraction pour pouvoir être interprété. À cet égard, l'opération de présentation visuelle des données nécessite l'identification de modes de simplification et de critères de classification sémantique et esthétique, afin de faire communiquer les données avec l'utilisateur visé par le projet et d'atteindre ainsi les objectifs spécifiques.

Visualisation de la météorologie

Traditionnellement, les météorologues et les scientifiques ont utilisé une variété de cartes et de diagrammes 2D dessinés à la main. Par exemple, Christiaan Huygens, un physicien, astronome et mathématicien néerlandais du XVII^e siècle, a esquissé de nombreux dessins de la forme de Saturne avant de pouvoir reconnaître les anneaux de la planète avec un télescope. Ce scientifique a dessiné un diagramme, appelé diagramme de Huygens, pour expliquer comment les aspects des anneaux de Saturne changent lorsqu'on les regarde depuis la Terre (Ibidem). Entre les années 1940 et 1950, l'architecte et inventeur Richard Buckminster Fuller a été le pionnier de la visualisation de données en concevant, puis en brevetant, une projection cartographique bidimensionnelle du globe, appelée la carte du monde Dymaxion (acronyme de Maximum Dynamic Tension) (Grimaldi 1990). La carte, composée de formes triangulaires et carrées, représente le globe comme une île dans un océan, sans

distorsion visuellement apparente des formes et tailles relatives des zones terrestres et sans division des continents. Une carte sur laquelle la succession des terres et des mers s'enroule obliquement, provoquant un effet de renversement – selon la tranche triangulaire du globe que nous avons sous les yeux – des terres contre la surface uniforme des mers.

De nombreux articles et études ont exploré la visualisation de la météorologie au niveau technologique. Dans son ouvrage sur la météorologie, Saucier a classé les représentations en usage dans les années 1950 en cartes météorologiques, cartes en coupe, cartes verticales et cartes en coupe temporelle (Saucier 1955). Ces représentations météorologiques en 2D comprenaient des formes de visualisation du terrain telles que les courbes de niveau, les vecteurs de vent et les lignes d'écoulement.

Dans les années 1980, une grande attention a été accordée aux aspects psychophysiques, en particulier à la perception visuelle de la météorologie (Papathomas, Schiavone, Julesz 1988; Kepes 1990). De ce point de vue, les défis concernaient la visualisation et la perception (en expérimentant également la troisième dimension), notamment l'utilisation correcte des indices visuels pour créer l'illusion de la profondeur, la composition de l'interface, les performances du système et la gestion des observateurs finaux. Les études de Hibbard se sont concentrées sur la modélisation 3D d'images de trajectoires de vent, de surfaces de contour et de données radar, notant que les visualisations nécessitaient des améliorations, notamment en ce qui concerne la perception spatiale – comprise comme la position du regard de l'observateur –, l'utilisation de la couleur, la visualisation combinée de multiples variables et une plus grande efficacité pour améliorer l'interactivité (Hibbard 1986). En outre, à cette époque, les techniques d'infographie ont été utilisées dans de nombreux domaines (Mazza 2007), ce qui a permis de manipuler des images et des films (avec le soutien de scénaristes, de conseillers artistiques et de travailleurs de la post-production)⁴ pour la visualisation des données météorologiques.

Depuis les années 1990 environ, l'amélioration des programmes graphiques a permis le développement d'outils de visualisation interactive dans le domaine de la météorologie. Par exemple, les données relatives au vent peuvent être représentées par des graphiques vectoriels, avec des lignes de flux et de trajectoire

(Rautenhaus et al. 2017). La visualisation 2D est encore très présente dans la représentation de la météorologie contemporaine, malgré les efforts réalisés dans les années 1980 et 1990 en matière de modélisation 3D.

Les météorologues s'intéressent principalement aux mouvements horizontaux exprimés par les modèles météorologiques (pour lesquels une représentation sur une carte 2D est appropriée), à la plus grande clarté des cartes 2D par rapport à la perception spatiale plus complexe, à la transmission d'informations quantitatives et, enfin, à une certaine raison historique de s'entraîner avec des modes de visualisation 2D au fil du temps (Rautenhaus et al. 2017). Ces représentations météorologiques en 2D comprenaient des formes de visualisation du terrain telles que les lignes de contour, les vecteurs de vent et les lignes d'écoulement.

La conception d'une visualisation météorologique est cruciale pour la compréhension des données visualisées et la construction d'un modèle mental reproductible. Un certain nombre d'études donnent des conseils sur la façon de réaliser des cartes météorologiques en examinant, au niveau cognitif, comment les éléments d'une visualisation sont perçus. Par exemple, l'utilisation de la couleur dans les cartes météorologiques a été récemment étudiée par un groupe de chercheurs qui ont discuté de l'utilisation de la teinte perceptive, à travers le modèle de couleur HCL,⁵ dans l'espace couleur d'une carte, vérifiant l'avantage d'une meilleure lisibilité, par exemple, entre les nuances de couleur (Stauffer, Mayr, Dabernig, Zeileis 2014). Observer devient ainsi une expérience esthétique consistant en l'exploration focale directe de l'image afin d'élargir la connaissance des caractéristiques de composition de l'interface de visualisation des données.

D'autres études ont porté sur la conception de l'interface utilisateur, en expérimentant des alternatives graphiques à la représentation de la circulation atmosphérique (vents, marées, air, particules, etc.). Des approches alternatives pour représenter le champ vectoriel du vent sur des cartes 2D ont été explorées, dans différents domaines, en utilisant des interfaces statiques avec des éléments animés composés de différents schémas de couleurs et textures (Pilar, Ware 2013). Par exemple, la plateforme interactive EARTH⁶ réalisée par Cameron Beccario offre à l'utilisateur une représentation des flux de vent sur un globe sur fond noir à travers des graphiques vectoriels, colorés



Fig. 1 | EARTH, donnée visuelle: vitesse des vents à la surface (20 octobre 2022)

et animés [Fig. 1]. Les données de vent sont représentées en 2D sous forme de lignes de courant et de lignes de trajectoire. EARTH offre un accès aussi direct que possible à un type de visualisation dynamique destiné à représenter les données sur le vent à l'échelle globale.

En revanche, dans le projet WIND MAP⁷ de Fernanda Viégas et Martin Wattenberg, respectivement concepteur informatique et informaticien, un flux de vent animé est représenté sur une carte statique en 2D des États-Unis, en noir avec des signes graphiques blancs. Dans ces exemples, la trajectoire du vent est représentée par des lignes de flux combinées basées sur la vitesse, la trajectoire et la densité de courant [Fig. 2]. Les lignes d'écoulement permettent un meilleur échantillonnage spatial de l'écoulement, capturant parfois des structures à petite échelle. En outre, l'utilisation d'une animation 2D pour obtenir une visualisation dynamique du flux a permis de percevoir les variables du flux éolien dans la durée.

Un autre mode de représentation des phénomènes météorologiques consiste à concevoir des représentations alternatives dans des diagrammes en spaghetti, composés de lignes multicolores en forme de spaghetti se ramifiant d'un axe y à l'autre. Le "spaghetti plot" est une méthode de visualisation des données dans des cartes bidimensionnelles pour représenter les flux possibles du système, qui est utilisée dans les scénarios de prévisions météorologiques "d'ensemble"⁸ (Ferstl, Kanzler, Rautenhaus, Westermann 2016). Elle permet d'obtenir une image, plus ou moins indicative, de la façon dont le temps peut évoluer sur une période donnée, en visualisant les données dans un graphique qui suit l'évolution des températures (axe des ordonnées) et des précipitations (axe des abscisses).



Fig. 2 | WIND MAP, donnée visuelle: vitesse des vents à la surface (20 octobre 2022)

Ce bref aperçu de la visualisation des données météorologiques montre comment, au fil des ans, l'analyse des ensembles de données a alimenté des idées pour aborder les études de visualisation, où le facteur de probabilité d'évolution du scénario élargit les problématiques liées à la représentation des phénomènes atmosphériques. En fait, les défis actuels des scientifiques sont liés à la représentation à temps des phénomènes atmosphériques intenses, en décrivant plus précisément la composition de l'air, les nuages, etc. Dans le paysage actuel, les chercheurs en météorologie devront envisager l'augmentation des volumes de données et l'avancement des connaissances sur les techniques de visualisation (comme l'analyse visuelle interactive qui met l'accent sur la typologie des données) qui incluent, par exemple, l'utilisation de la 3D pour donner une perception spatiale et immersive aux phénomènes atmosphériques. Il s'agit de réfléchir à la capacité de la 3D d'explorer la scène de manière continue et fluide et de parcourir les données en modalité interactive (Sidonie, Gautier, Chapron, Riley, Masson 2022). Par exemple, la 3D peut apporter à la représentation climatiques une illusion de profondeur, le choix d'un bon rapport d'aspect pour éviter les angles et les pentes trompeurs dans l'affichage, les performances du système et la manipulation de l'utilisateur (exploration interactive). En plus, la 3D peut élaborer des abstractions visuelles comme alternatives aux tracés "spaghetti plot".

Conclusion

S'il est vrai que le progrès continu des technologies de visualisation offre la possibilité de représenter et d'interpréter la grande quantité de *big data*, favorisant des traitements de données différentes, il est également vrai que l'environnement technologique dans lequel nous vivons impose de nouvelles façons de représenter les données que nos esprits acquièrent constamment en s'adaptant à une réalité hybride construite à partir de structures à la fois physiques et informationnelles (Lupi 2017). Les formes de visibilité que prennent les phénomènes météorologiques identifient un régime de pensée spécifique, un mode d'articulation entre des manières de faire – les formes de visibilité – et des manières de penser leur relation.

L'explosion des données simulées et acquises dans de nombreux domaines allant des activités scientifiques aux activités industrielles, fait de la visualisation un outil pour décrire, de plus en plus, les phénomènes environnementaux suivant une vision algorithmique capable de délibérer des scénarios futurs. La visualisation des données météorologiques (en tant que technologie médiatique) participe du socle pour la compréhension des phénomènes climatiques en véhiculant des informations et des repères. Les codes qu'il adopte, les couleurs et les signes graphiques qu'il propose peuvent apporter des informations précises, profondes mais aussi synthétiques et partielles.

En conclusion, on perçoit que les technologies de visualisation des données en météorologie nécessitent une discussion sur le mode et la diversité de la représentation, le degré de perception de l'événement par l'individu et, enfin, leur impact global sur la compréhension des phénomènes atmosphériques et sur la crise écologique à l'heure de l'anthropocène.

Notes

¹ Cfr. <https://cs.lbl.gov/news-media/news/2018/lawrence-berkeley-oak-ridge-national-labs-share-2018-acm-gordon-bell-prize> (consulté le 15/10/22).

² Dans une perspective future, ces ensembles de données contenant des trillions de mots de texte, d'images, d'heures de voix et d'audio vidéo, ainsi que des quantités importantes de données génomiques, de clics, de réseaux sociaux, etc. sont appelés à croître.

³ Cfr. <https://senseable.mit.edu/treepedia> (consulté le 23/11/22).

⁴ À ce propos, je rappelle le projet *Teasing New Weather TV: Post-Producing Global Views* (multi-channel video installation, 25 mins) de Simone Fehlinger sur la visualisation météo et l'anthropocène. Voir <https://www.citedudesign.com/en/a/teasing-new-weather-tv-post-producing-global-views-2039> (consulté le 23/11/22).

⁵ Un modèle basé sur trois paramètres (teinte, chrominance et luminance) conçu pour s'aligner sur la manière dont la vision humaine perçoit les attributs de la création de couleurs. Voir Ihaka 2003.

⁶ Cfr. <https://earth.nullschool.net> (consulté le 15/10/22).

⁷ Cfr. <http://hint.fm/wind> (consulté le 15/10/22).

⁸ La prévision d'ensemble est une méthode utilisée dans le cadre de la prévision numérique du temps. Au lieu de faire une seule prévision météorologique la plus probable, on produit une série (ou un ensemble) de prévisions. Cet ensemble de prévisions vise à fournir une indication de l'éventail des états futurs possibles de l'atmosphère. Voir: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ensembleforecasting> (consulté le 20/10/22).

Bibliographie

- BERTIN J. (2013), *Sémiologie graphique: Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris.
- BIHANIC D. (2014), *New Challenge Data Design*, Springer, London.
- CALVINO I. (2016), *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Mondadori, Milano.
- FERSTL F., KANZLER M., RAUTENHAUS M., WESTERMANN R. (2016), "Visual Analysis of Spatial Variability and Global Correlations in Ensembles of Iso-contours", in *Comput. Graphics Forum*, 3.
- GRIMALDI R. (1990), *Richard Buckminster Fuller. 1895-1983*, Officina, Roma.
- HALPERN O. (2014), *Beautiful Data. A History of Vision and Reason Since 1945*, Duke University Press, Durham-London.
- HANSEN C., JOHNSON C. (2004), *The Visualization Handbook*, Academic Press.
- HIBBARD W. L. (1986), "Computer-generated Imagery for 4D Meteorological Data", in *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 11, pp. 1362-1369.
- IHAKA R. (2003), "Colour for Presentation Graphics", in HORNIK K., LEISCH F., ZEILEIS A. (edited by), in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing*, Vienna.
- KEPES G. (1990), *Il linguaggio della visione*, Dedalo, Bari.
- LATOURE B. (2000), "La fin des moyens", in *Réseaux-Communiquer à l'ère des réseaux*, 100, pp. 39-58.
- LUHMANN N. (1998), *Observations on Modernity*, Stanford University, Stanford.

LUPI G. (2017), *Data Humanism: The Revolutionary Future of Data Visualization*, <https://www.printmag.com/article/data-humanism-future-of-data-visualization>.

MARMO R., VALLE M., ZANNONI C. (2005), *Introduzione alla Visualizzazione Scientifica. Come esplorare ed illustrare un fenomeno scientifico con le immagini create dal computer*, Il Rostro, Milano.

MAZZA R. (2007), *La rappresentazione grafica delle informazioni*, Apogeo, Milano.

MCCANDLESS D. (2012), *Information is Beautiful*, William Collins, London.

MCCORMICK B. H., DE FANTI T. A., BROWN M. D. (1987), "Visualization in Scientific Computing Computer Graphics", in *ACM SIGGRAPH*, 6.

MCINTYRE M. E. (1988), "Numerical weather prediction: A vision of the future", in *Weather*, 8, pp. 294-298.

MONTANI P. (2014), *Tecnologie della sensibilità. Estetica e immaginazione interattiva*, Cortina Raffaello, Milano.

PAPATHOMAS T. V., SCHIAVONE J. A., JULESZ B. (1988), "Applications of Computer Graphics to the Visualization of Meteorological Data", in *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 4, pp. 327-334.

PILAR D. H. F., WARE C. (2013), "Representing Flow Patterns by Using Streamlines with Glyphs", in *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, 8, pp. 1331-1341.

RAUTENHAUS M., BOTTINGER M., SIEMEN S., HOFFMAN R., KIRBY R. M., MIRZARGAR M., ROBER N., WESTERMANN R. (2018), "Visualization in Meteorology-A Survey of Techniques and Tools for Data Analysis Tasks", in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp. 12-24.

RUBESSI C. (2021), "Visualisation de données et espace d'exposition: enjeux et pratiques", in SIMONNOT B., BROUDOUX E., CHARTRON G. (sous la direction de), *Humains et données. Création, médiation, décision, narration*, De Boeck Supérieur, Louvain-la-Neuve, pp. 175-184.

RUSSELL S., NORVIG P. (2021), *Intelligenza artificiale. Un approccio moderno*, Pearson, Milano.

SAUCIER W. J. (1955), *Principles of Meteorological Analysis*, Dover Publications, New York.

SIDONIE C., GAUTIER J., CHAPRON P., RILEY L., MASSON V. (2022), "3D Geovisualization for Visual Analysis of Urban Climate", in *Cybergeo: European Journal of Geography*, 1008.

STAUFFER R., MAYR G. J., DABERNIG M., A. ZEILEIS (2014), "Somewhere over the Rainbow: How to Make Effective Use of Colors in Meteorological Visualizations", in *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2, pp. 203-216.