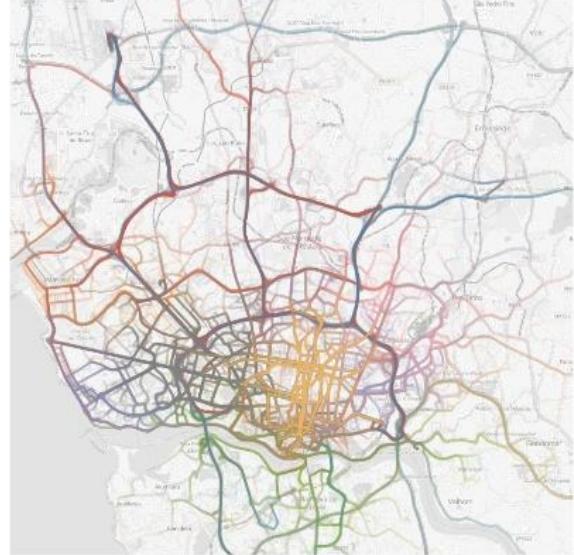
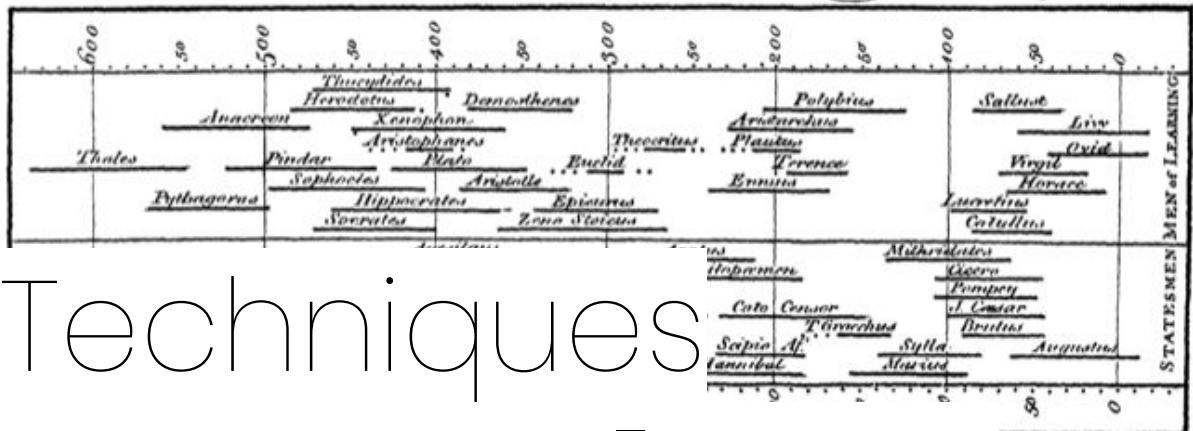


# *A Specimen of a Chart of Biography.*



## Techniques

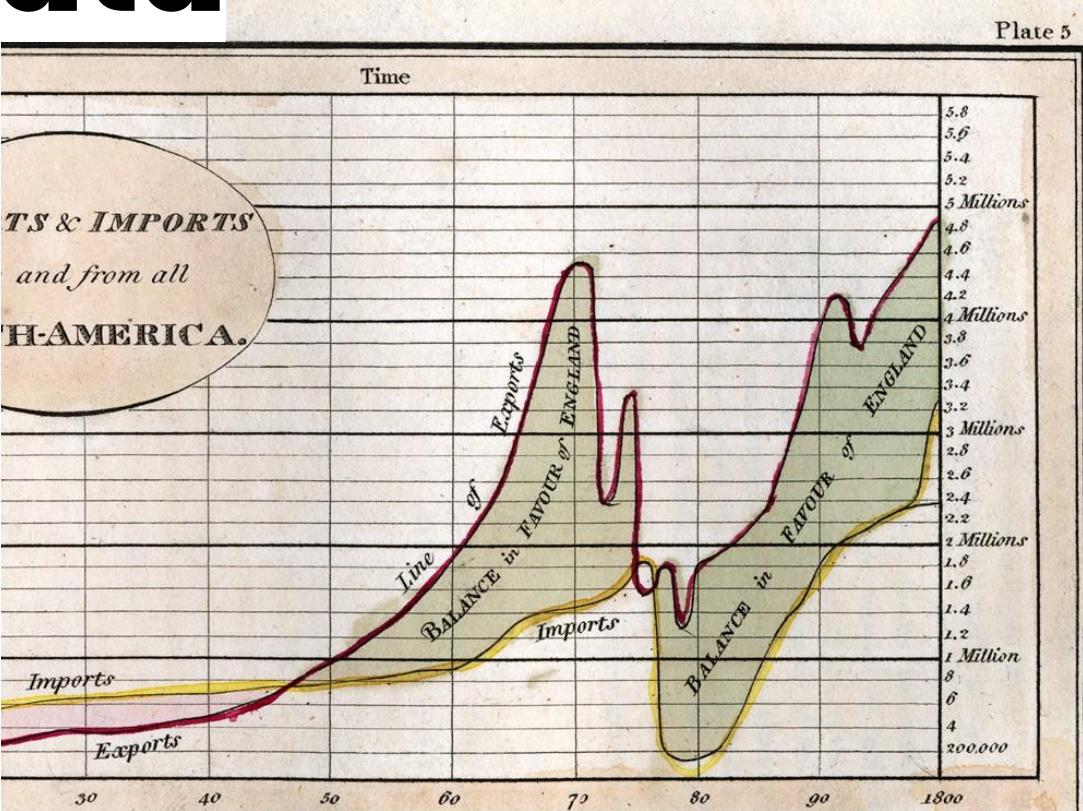
# Temporal Data

Benjamin Bach

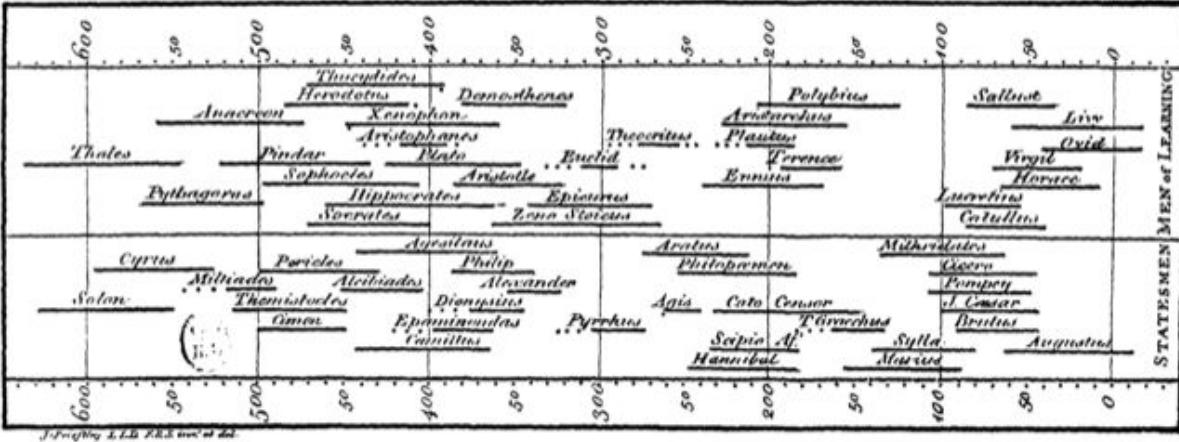
<http://benjbach.me>

University of Edinburgh

2020



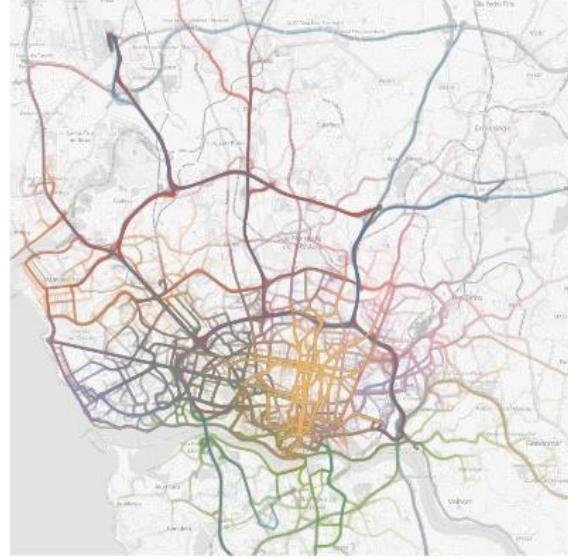
# A Specimen of a Chart of Biography.



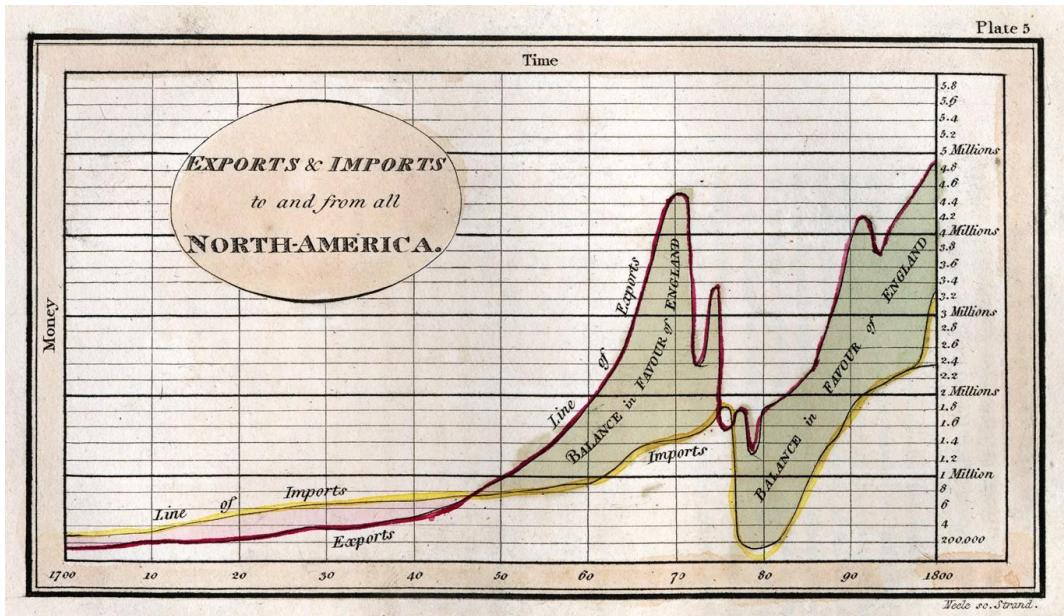
## Events



## Calendar



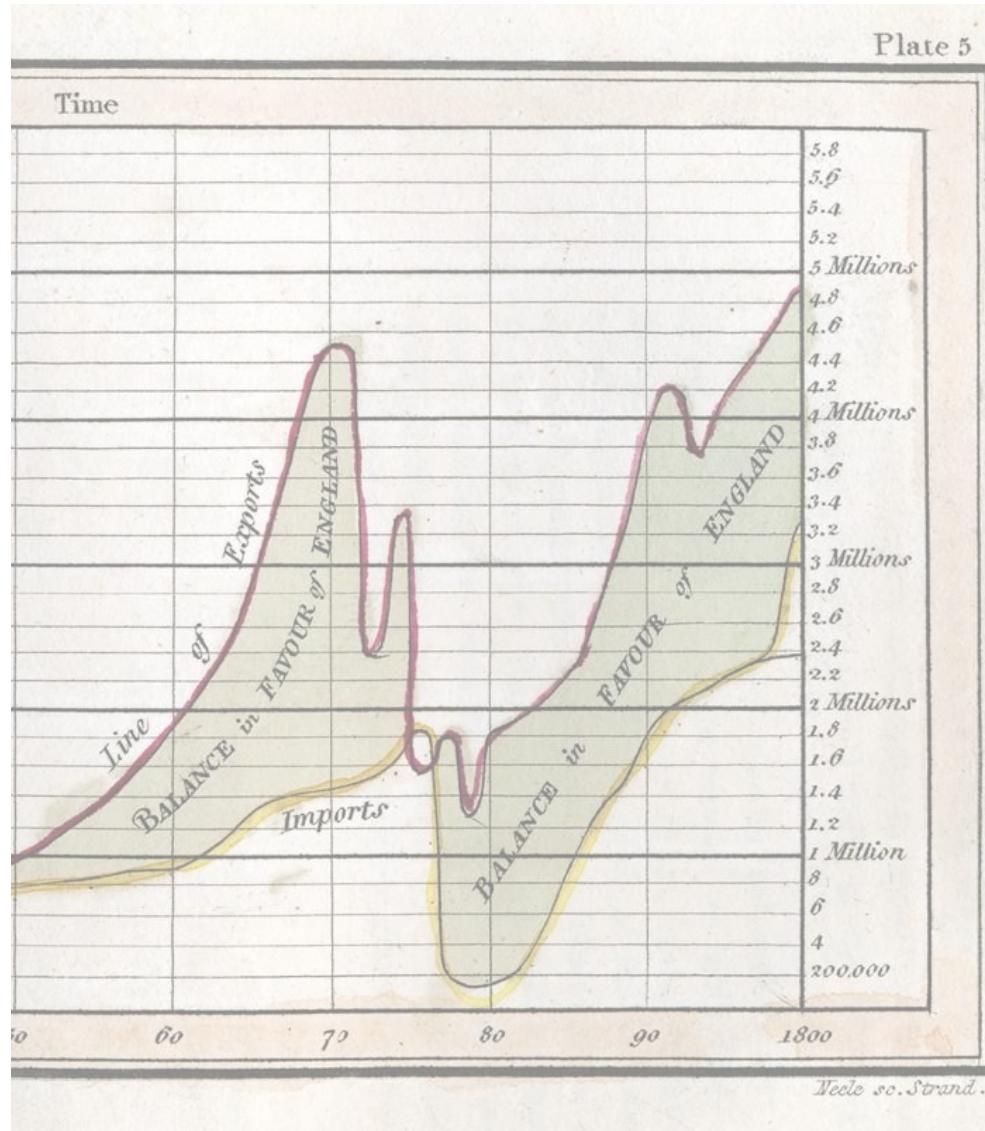
## Trajectories



## Time series

# Tasks

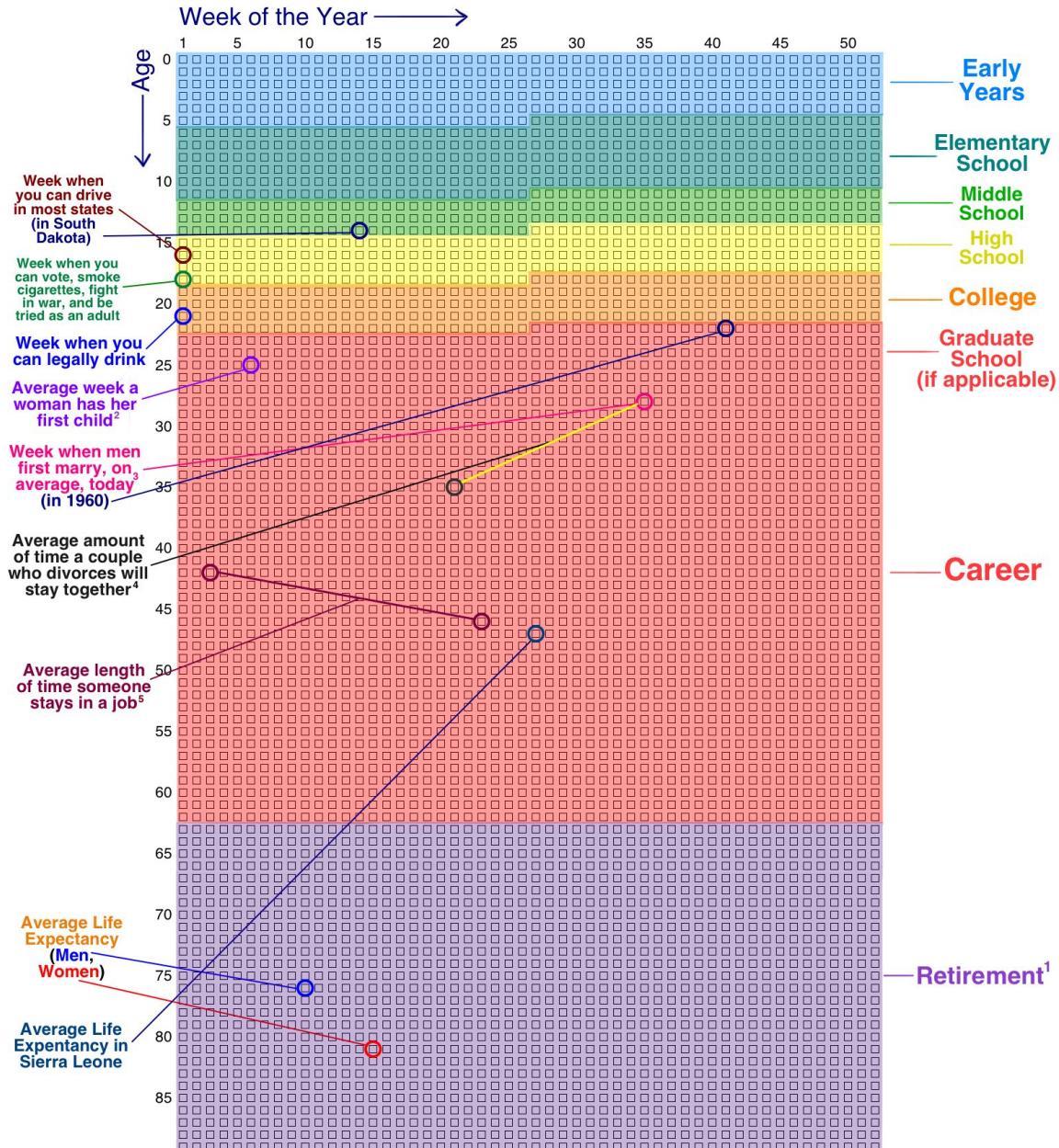
- Min, max values, specific values
- Trends and outliers
- Change and rate of change
- Sequence
- Dynamicity / variation
- Noise vs. signal
- Check for specific events that may influence the data
- Correlate and compare time series
- Space + time



# Time is complex

- Directed
- Cyclic
- Quantities
- Scales
- Parallelity
- Granules: weeks, months

## The Life of a Typical American

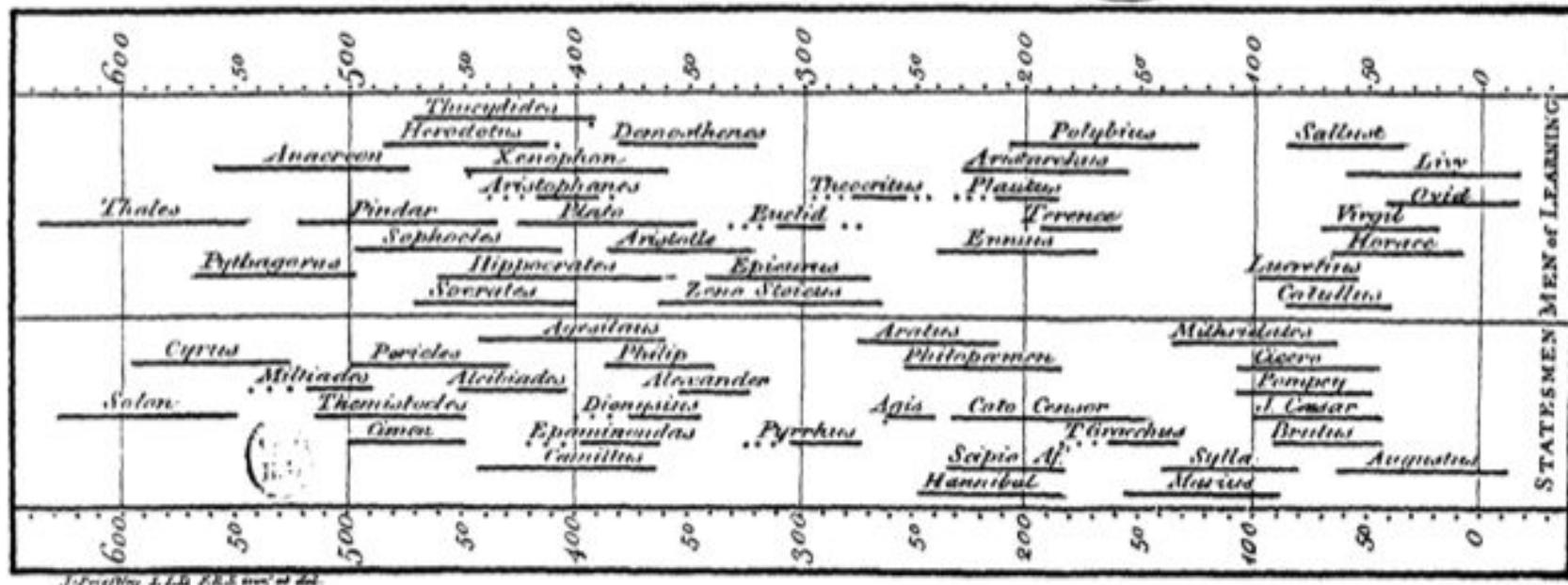


# Outline

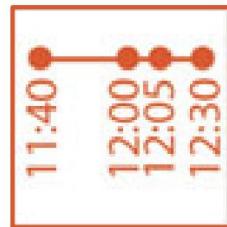
- Event data
- Time serie
- Many time series
- Multidimensional temporal data
- Space-time cubes
- Time curves

# Events and durations

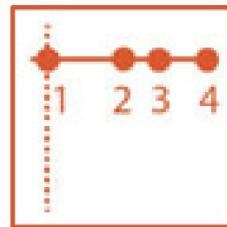
## *A Specimen of a Chart of Biography.*



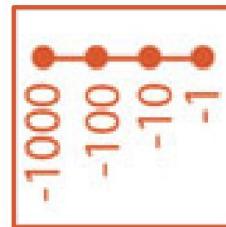
Scale



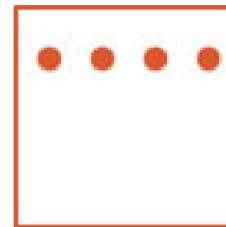
Chrono-  
logical



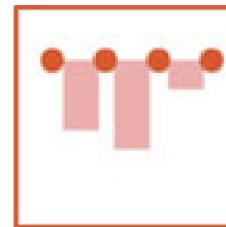
Relative



Logarithmic

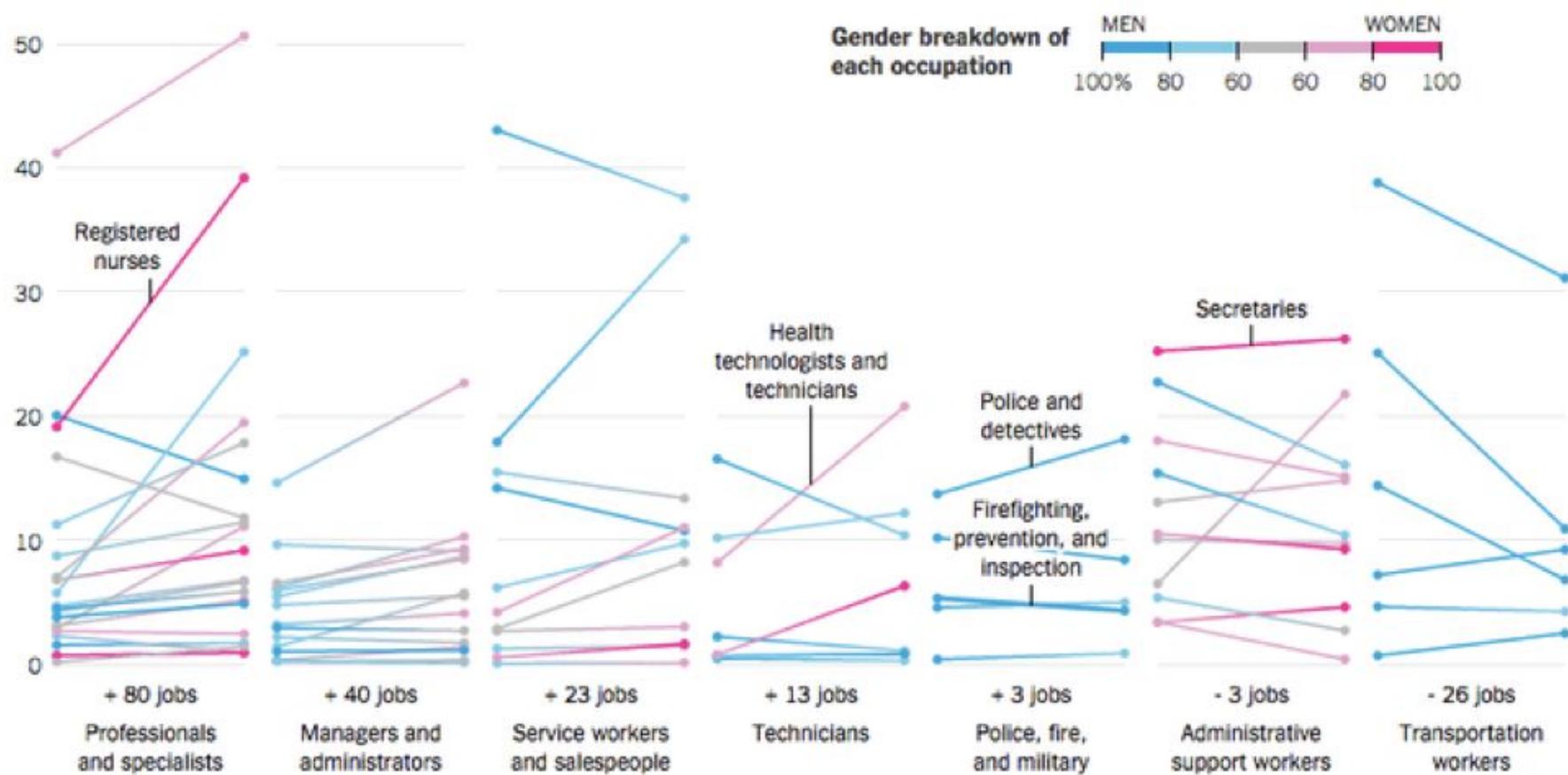


Sequential



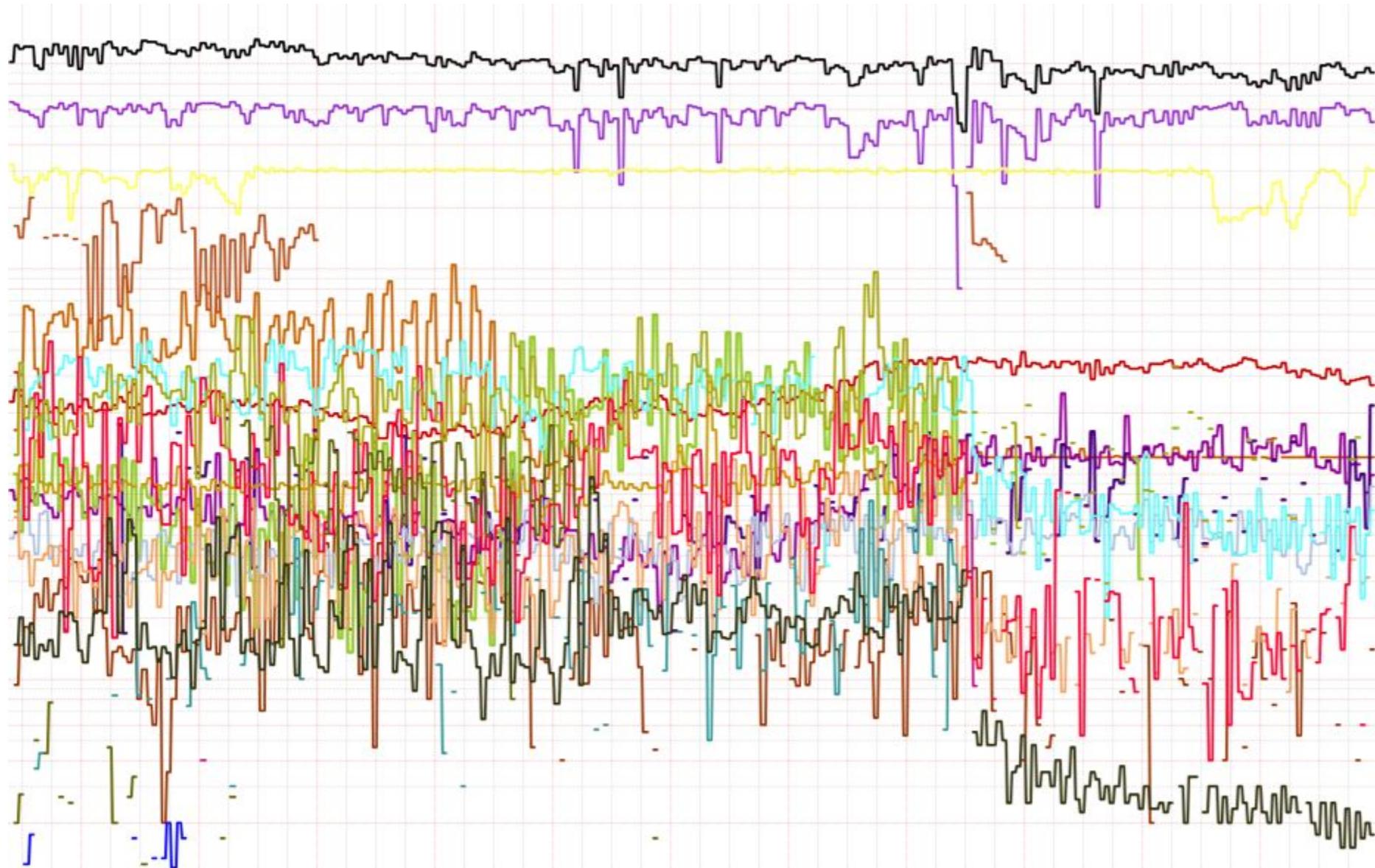
Sequential +  
Interim  
Duration

# Trend chart

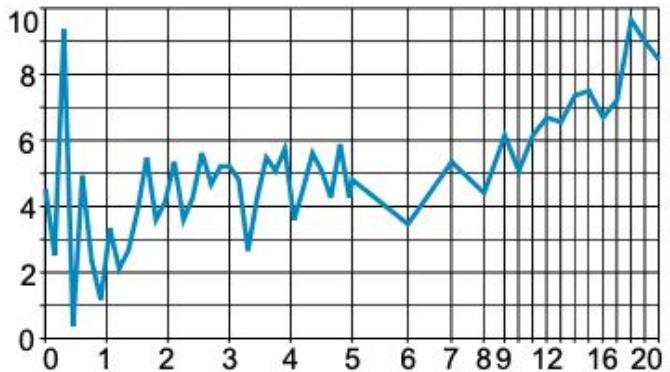


# Time series

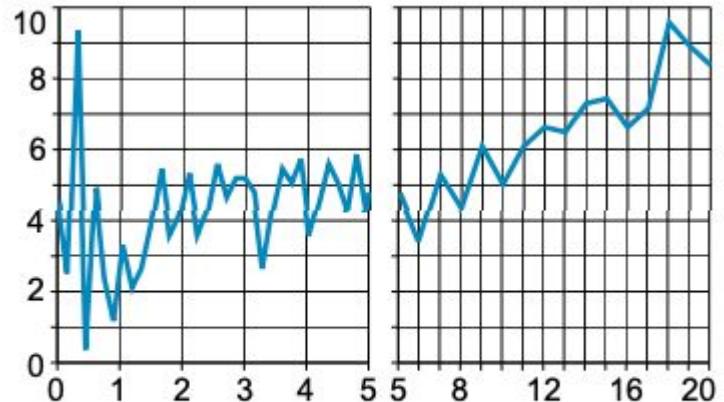
# Complexity



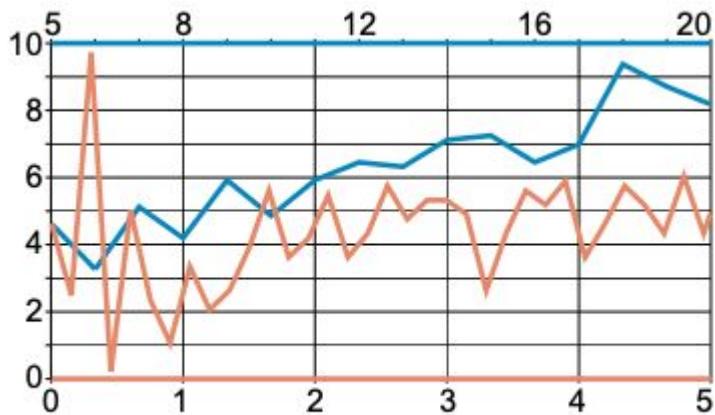
# Dual-Scale Data Charts



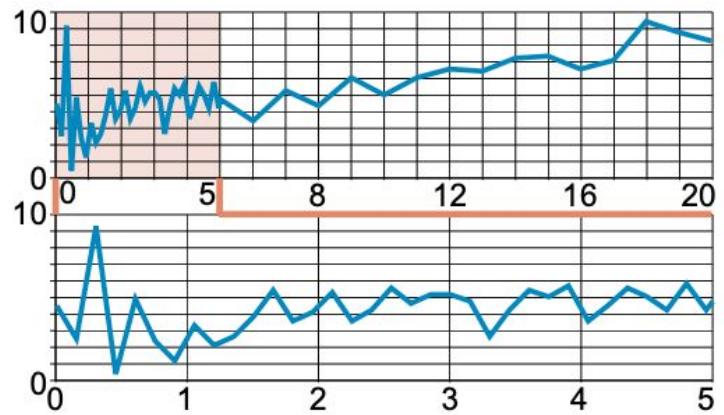
(a) A lens chart.



(a) A broken chart.

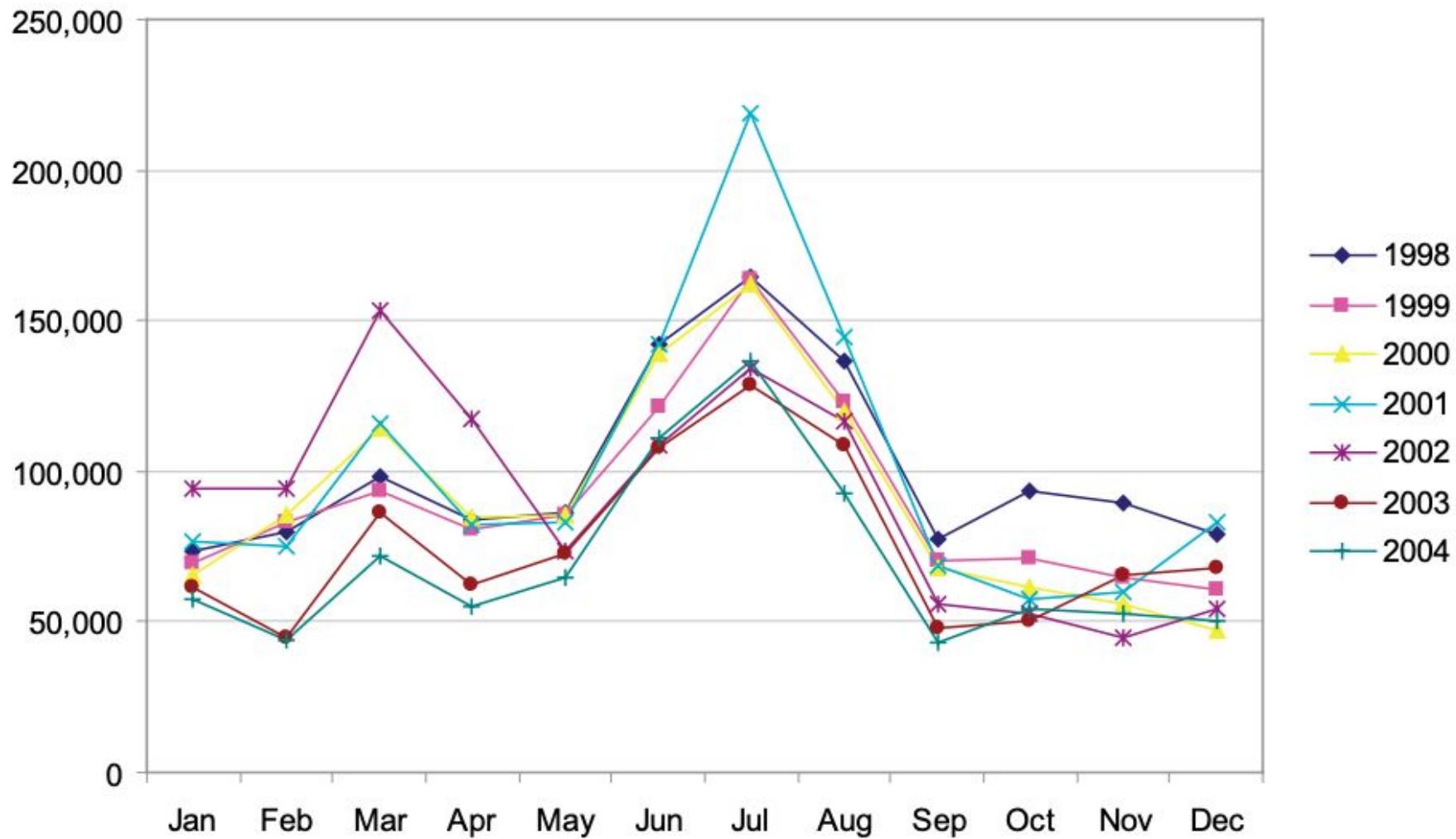


(a) A superimposed chart.

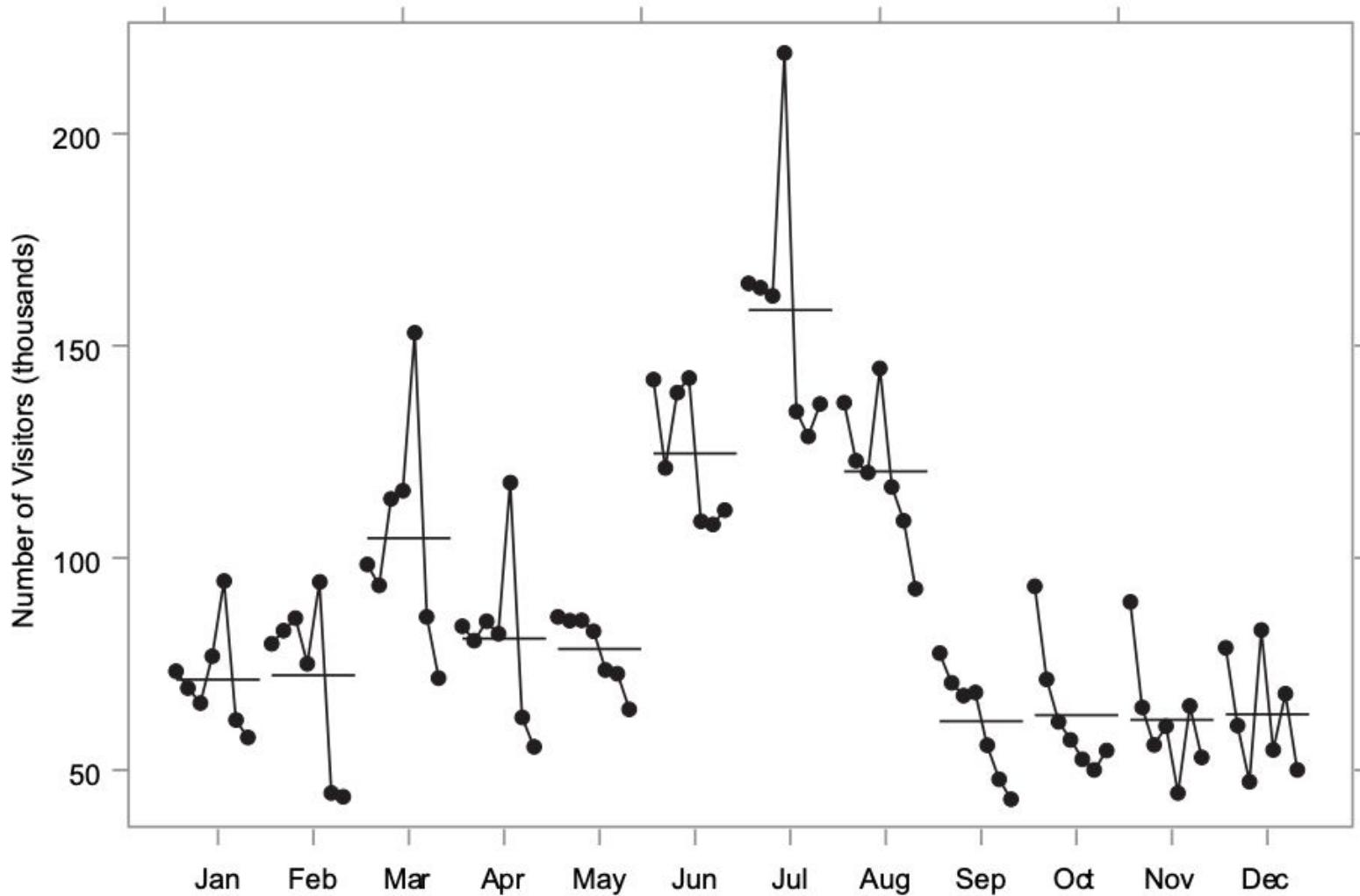


(a) A cut-out chart.

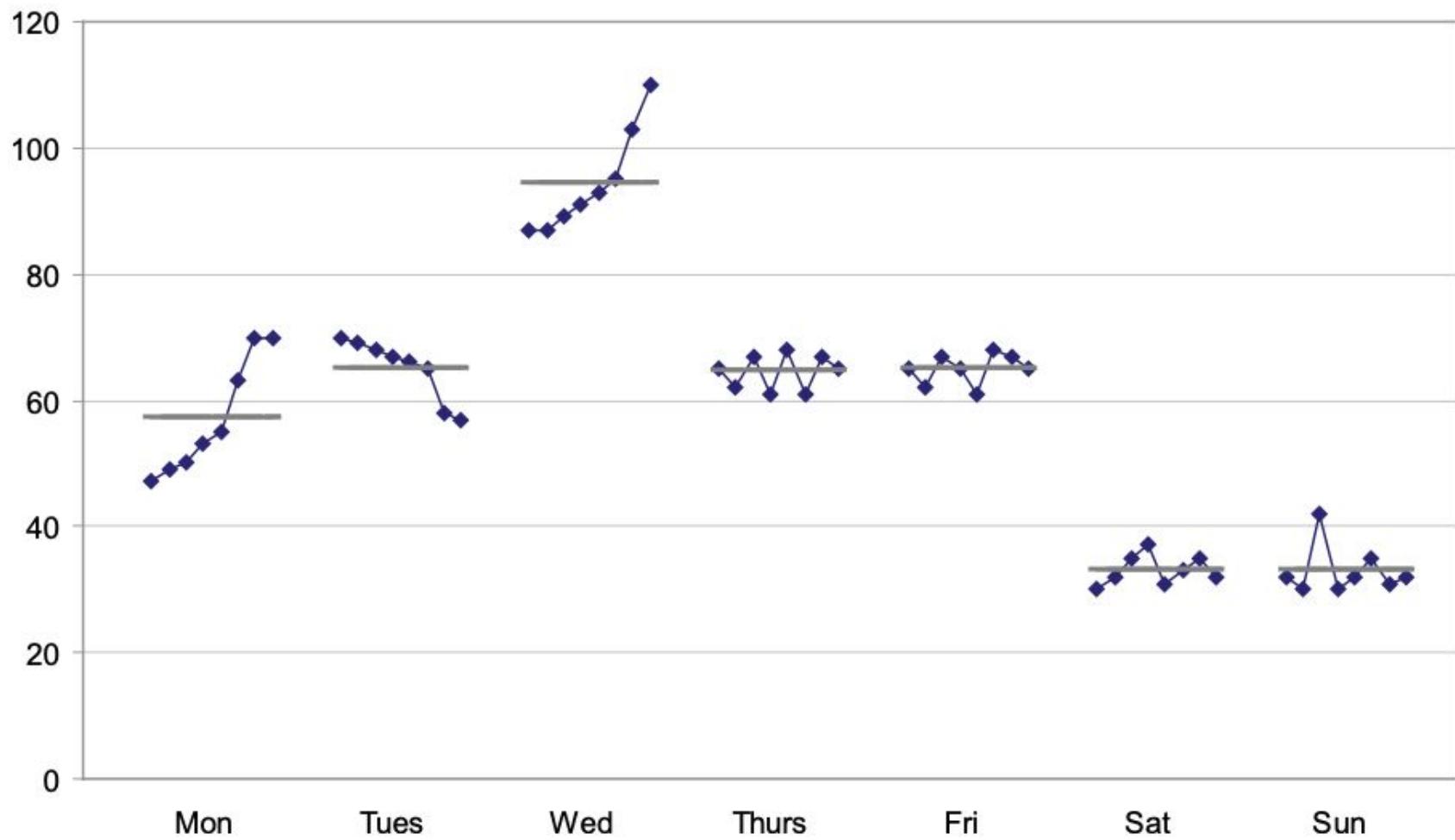
# Calendar data



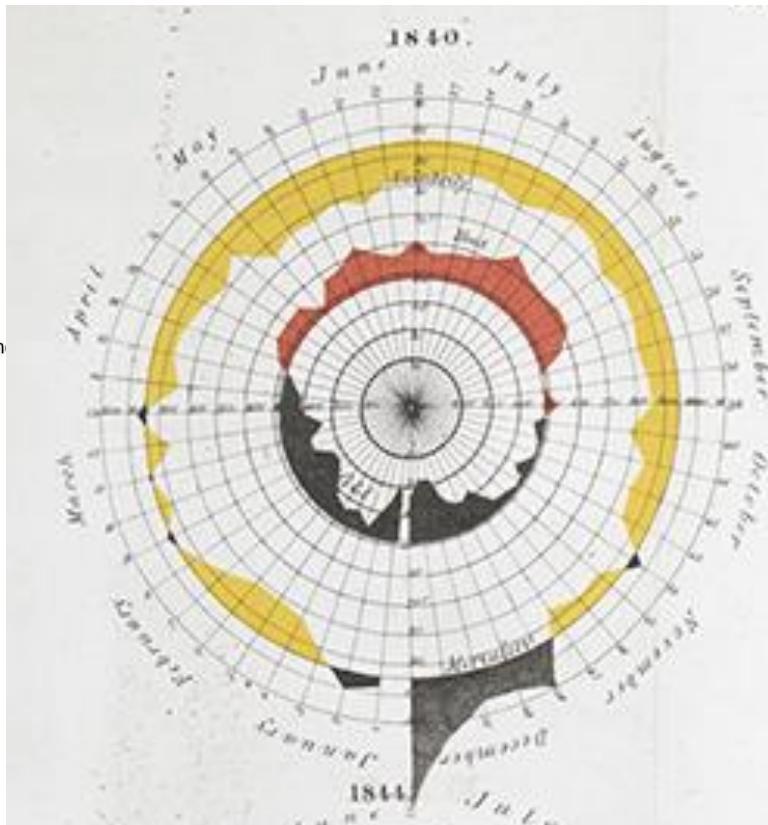
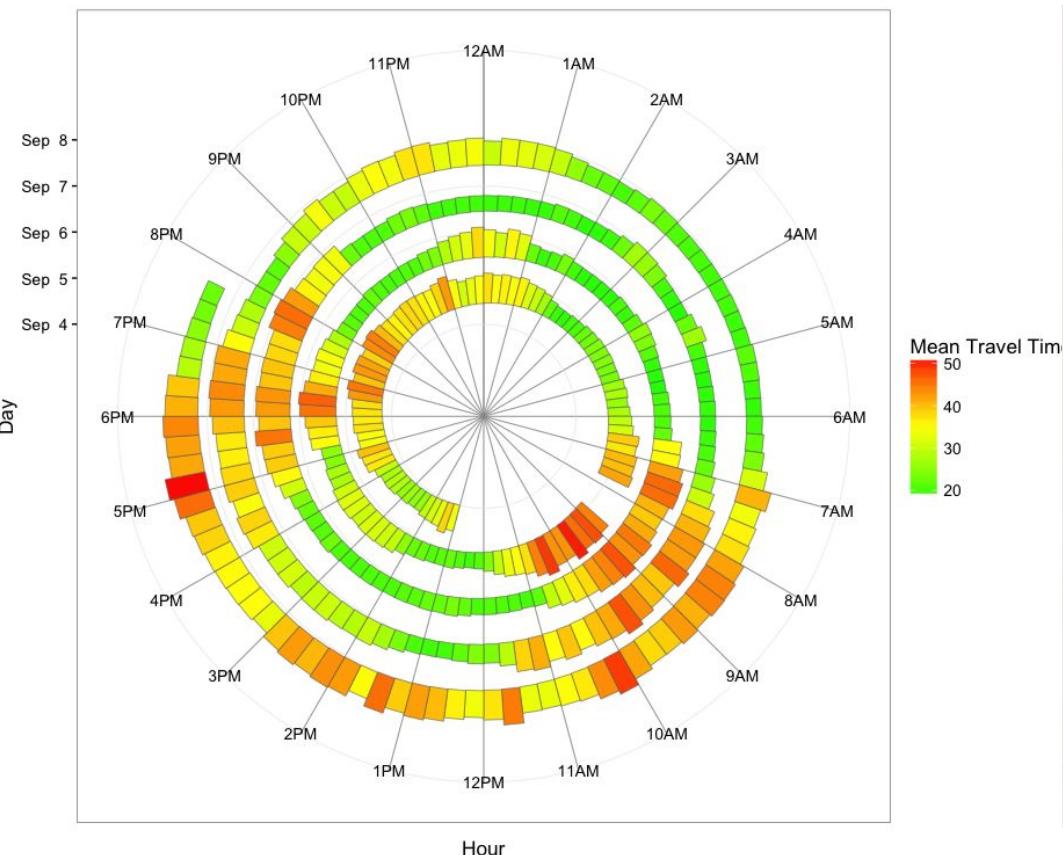
# Cycle plots: by month



# Cycle plots: by week day



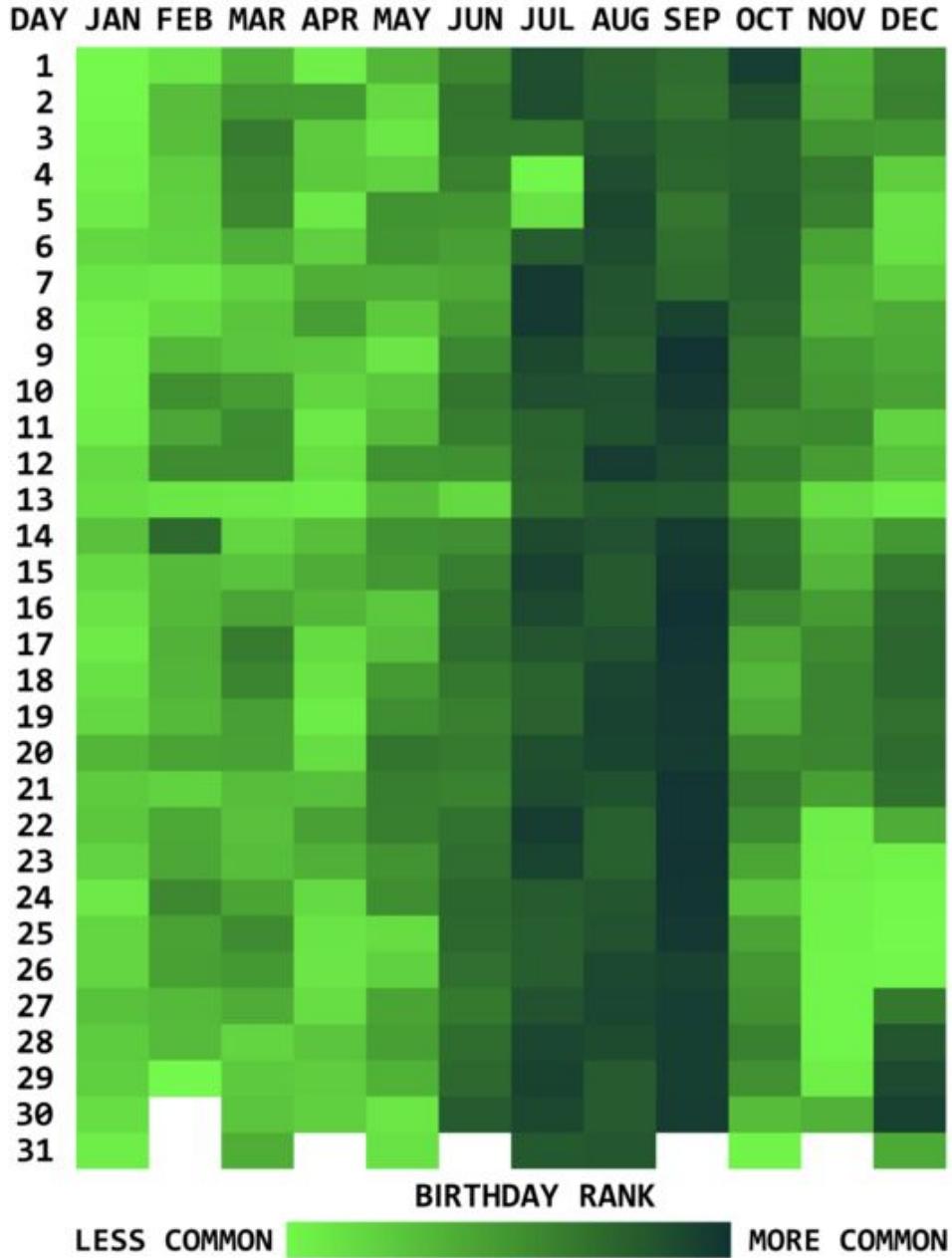
# Radial time visualizations



- Show cyclical data / values
- Outer layers getting longer!

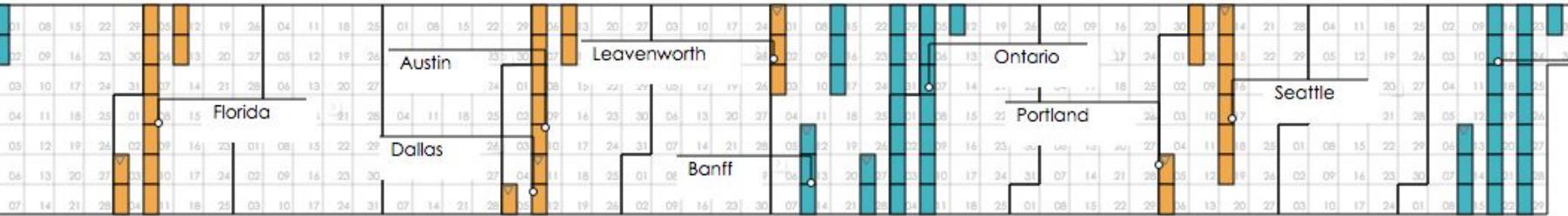
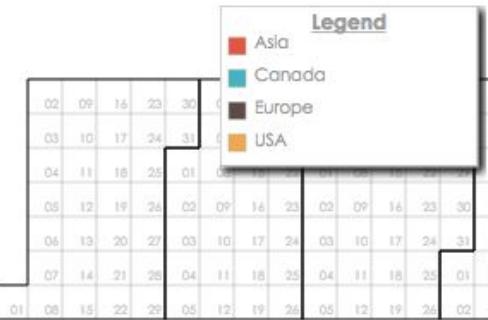
# Heatmap

- Calendar data + numerical values
  - + Row and column effects
  - + Easy look up
  - + Space efficient
  - Precise value comparison hard

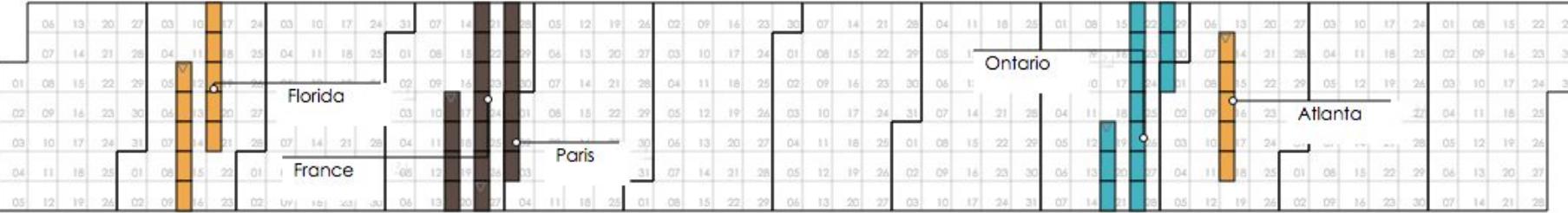


# Calendars

2011



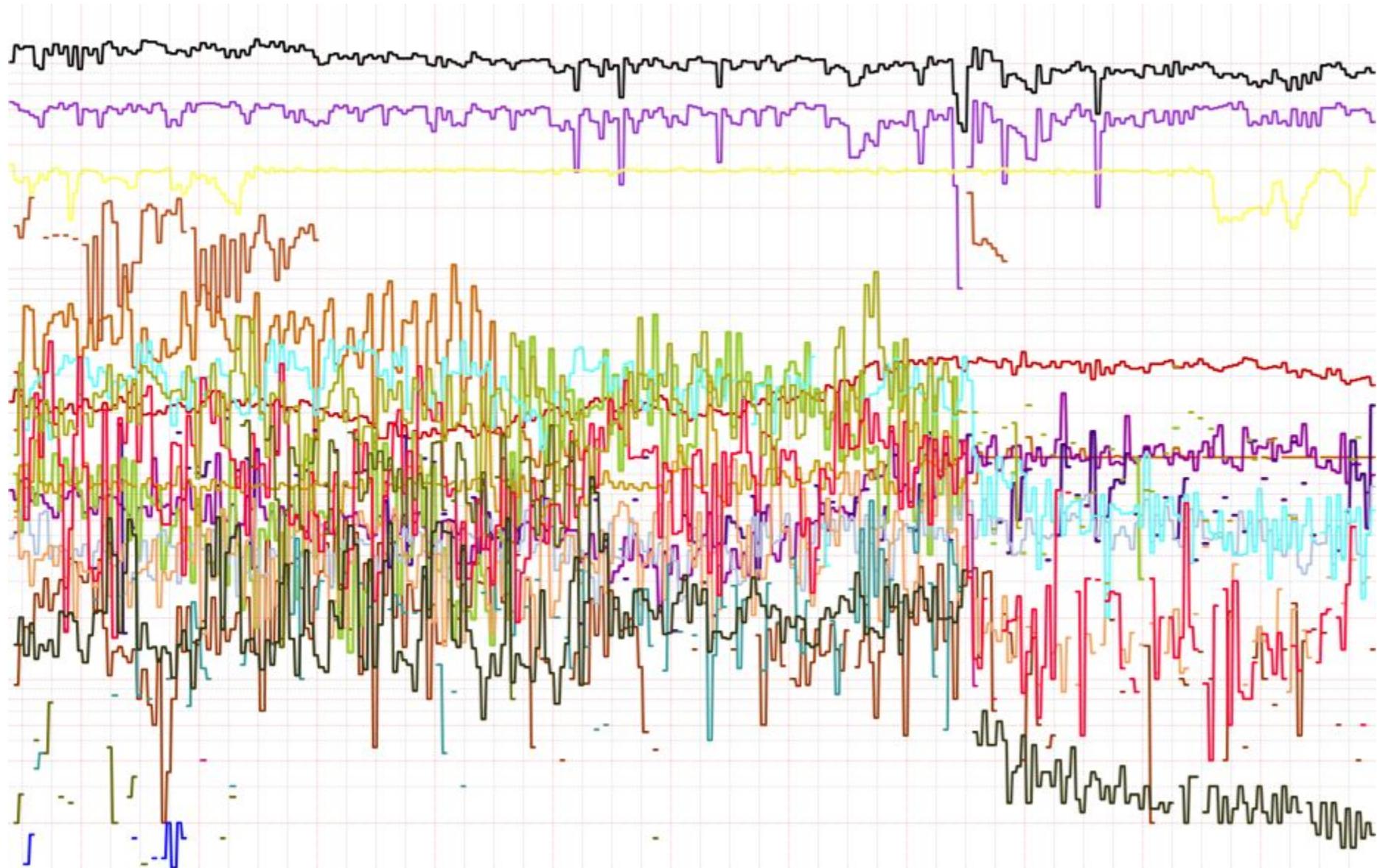
2013



2014



# Comparing multiple timelines?

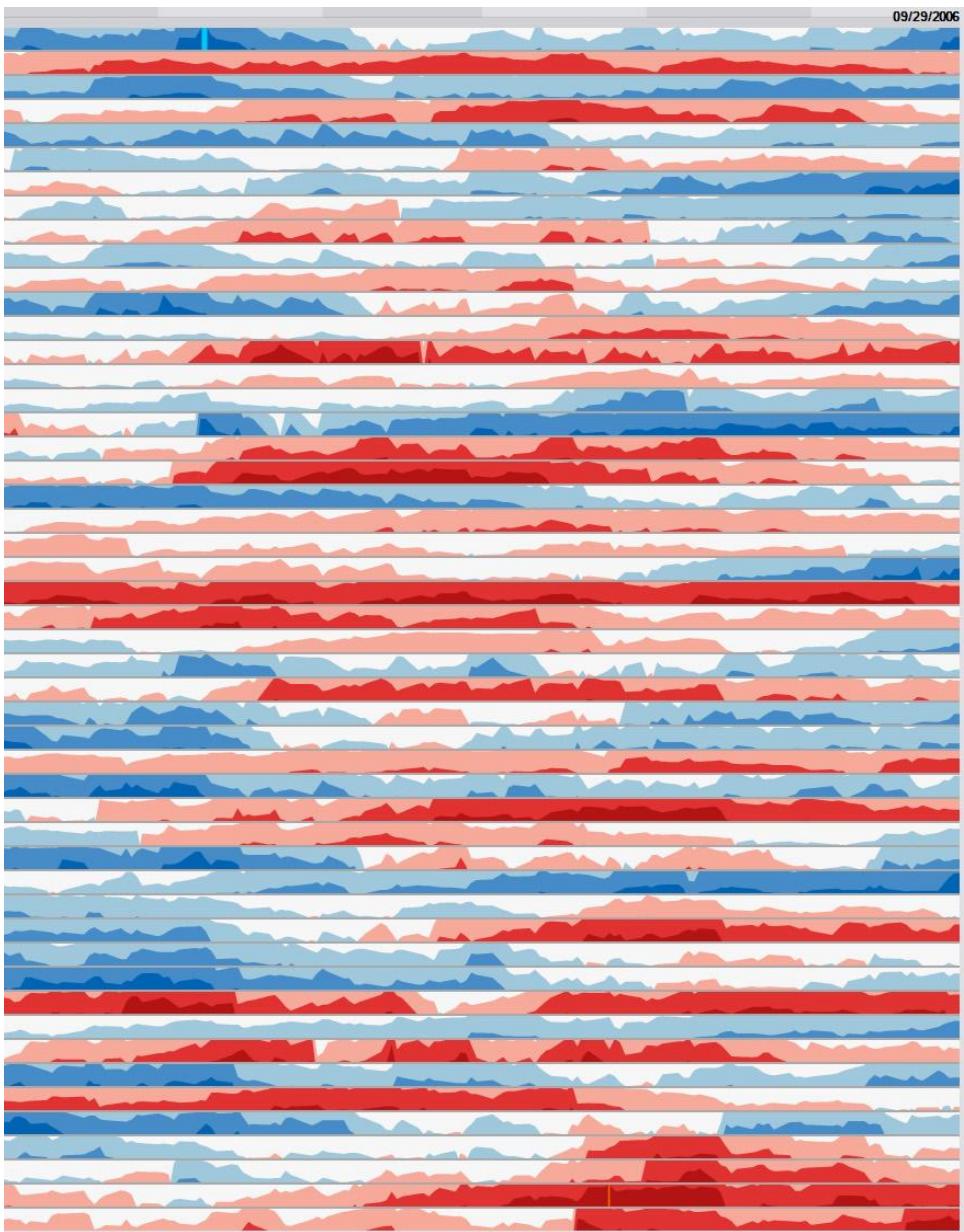
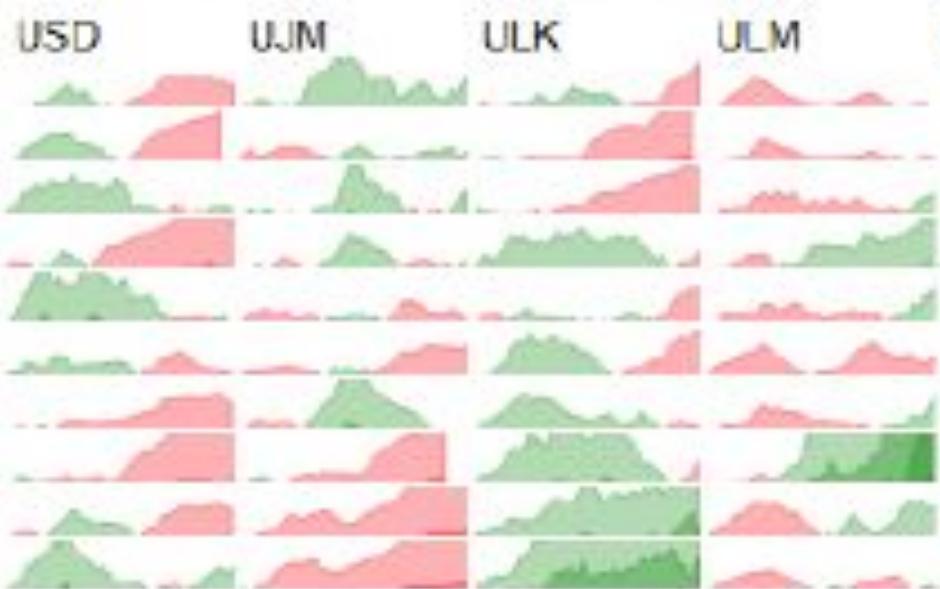


# Horizon graphs



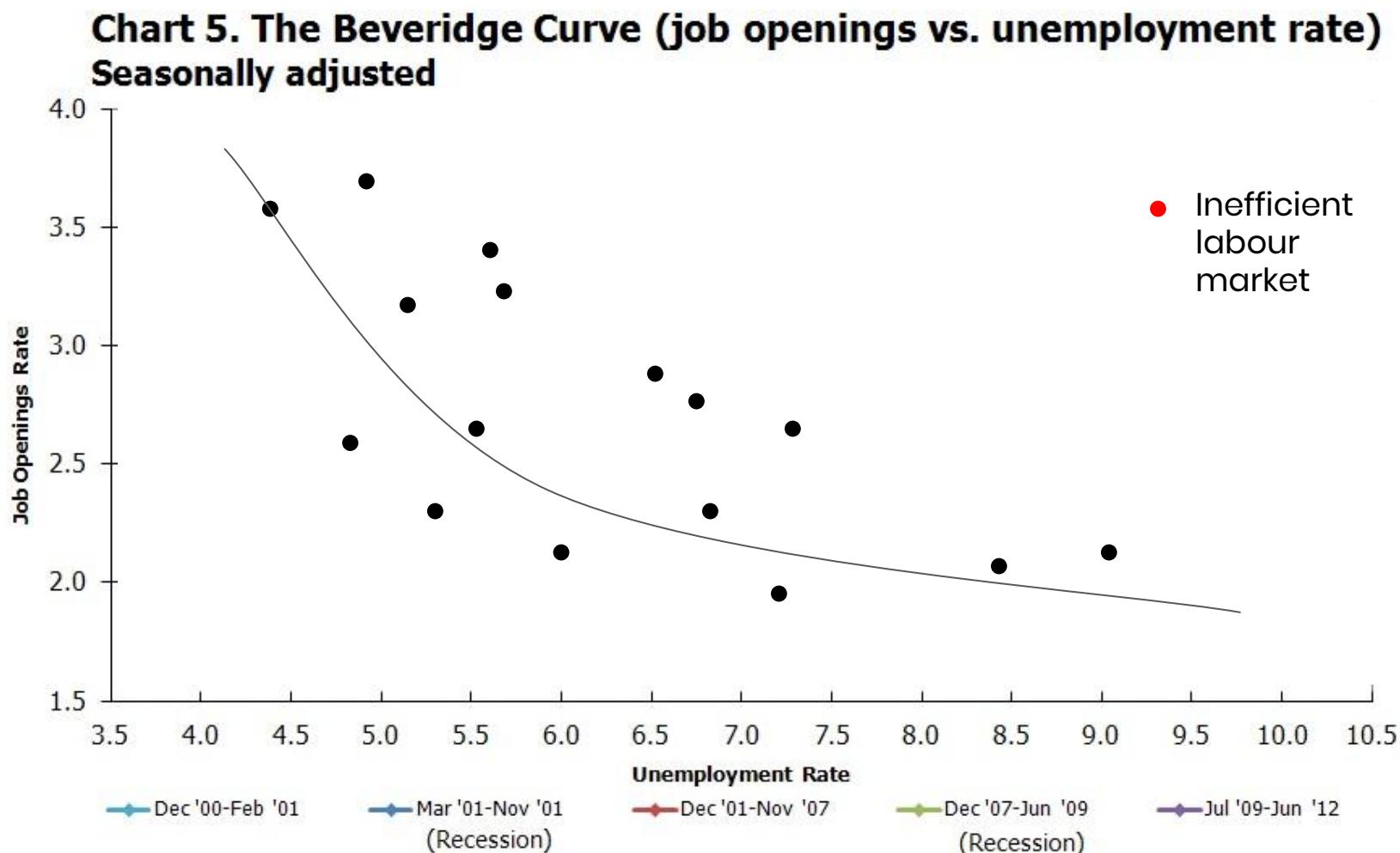
One more time...

# Horizon Graphs



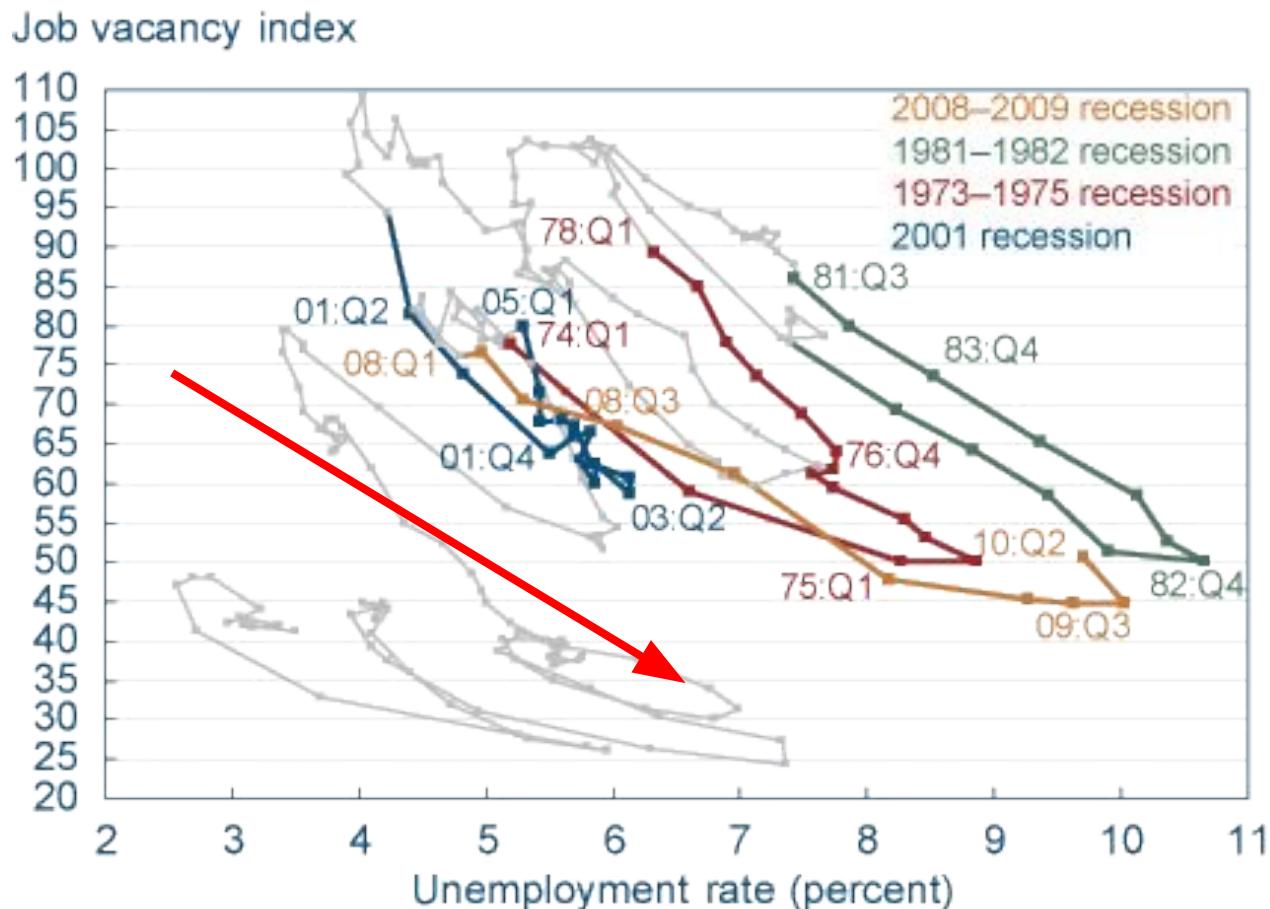
# **More Complex Data**

# Beveridge Curve: William Beveridge, econ.



# Beveridge Curve

**Recessions!**



Note: Data are quarterly and span the 1951:Q1–2010:Q2 period.  
[Figure updated 8/19/2010, correcting the miscoloring of the 2001 recession line.]  
Source: Conference Board, BLS, authors' calculations.

# Connected Scatterplot

METRICS

HANNAH FAIRFIELD

## Driving Shifts Into Reverse

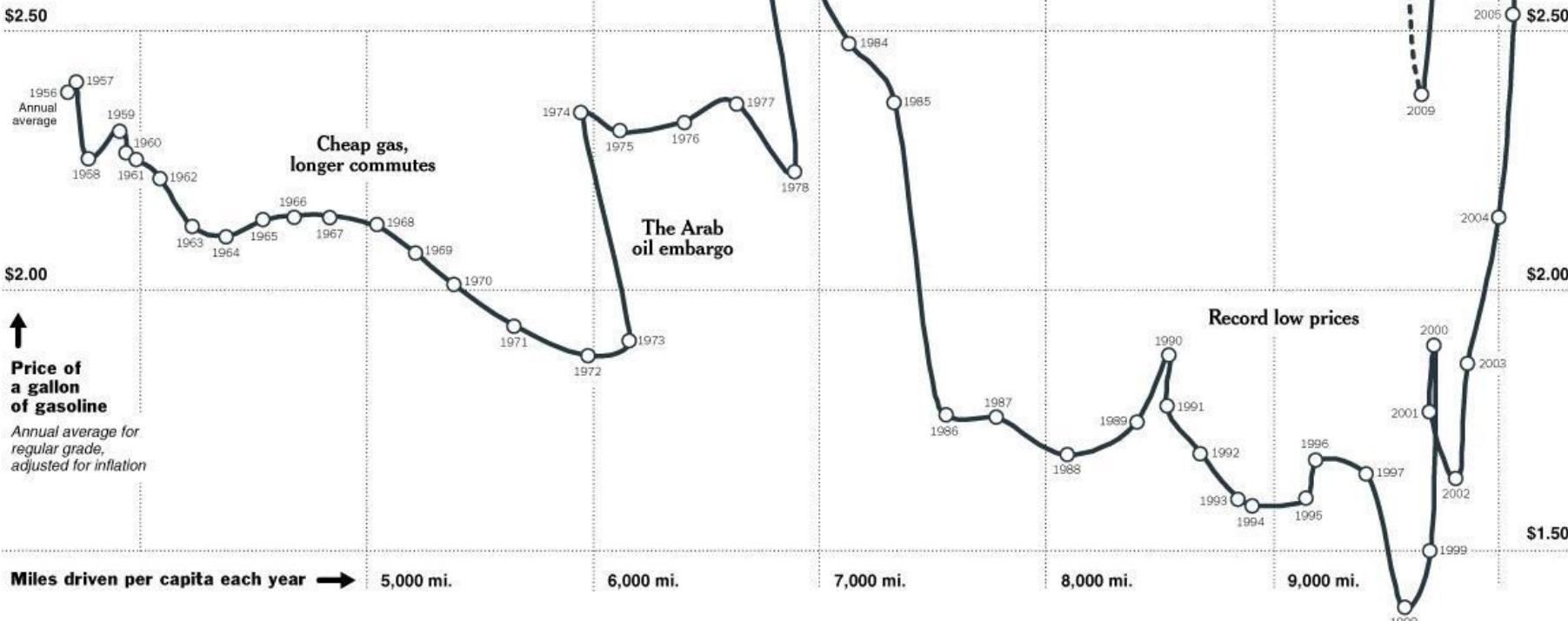
ECONOMISTS have long studied the relationship between driving habits and gasoline prices. Low gas prices can bring periods of profligate driving, and a quick jump in prices can cause many vehicles to languish in garages.

Until recently, Americans have driven more each year than the previous one, with a few brief exceptions. In 1956, Americans of driving age drove about 4,000 miles a year, on average. Fifty years later, that figure had climbed above 10,000.

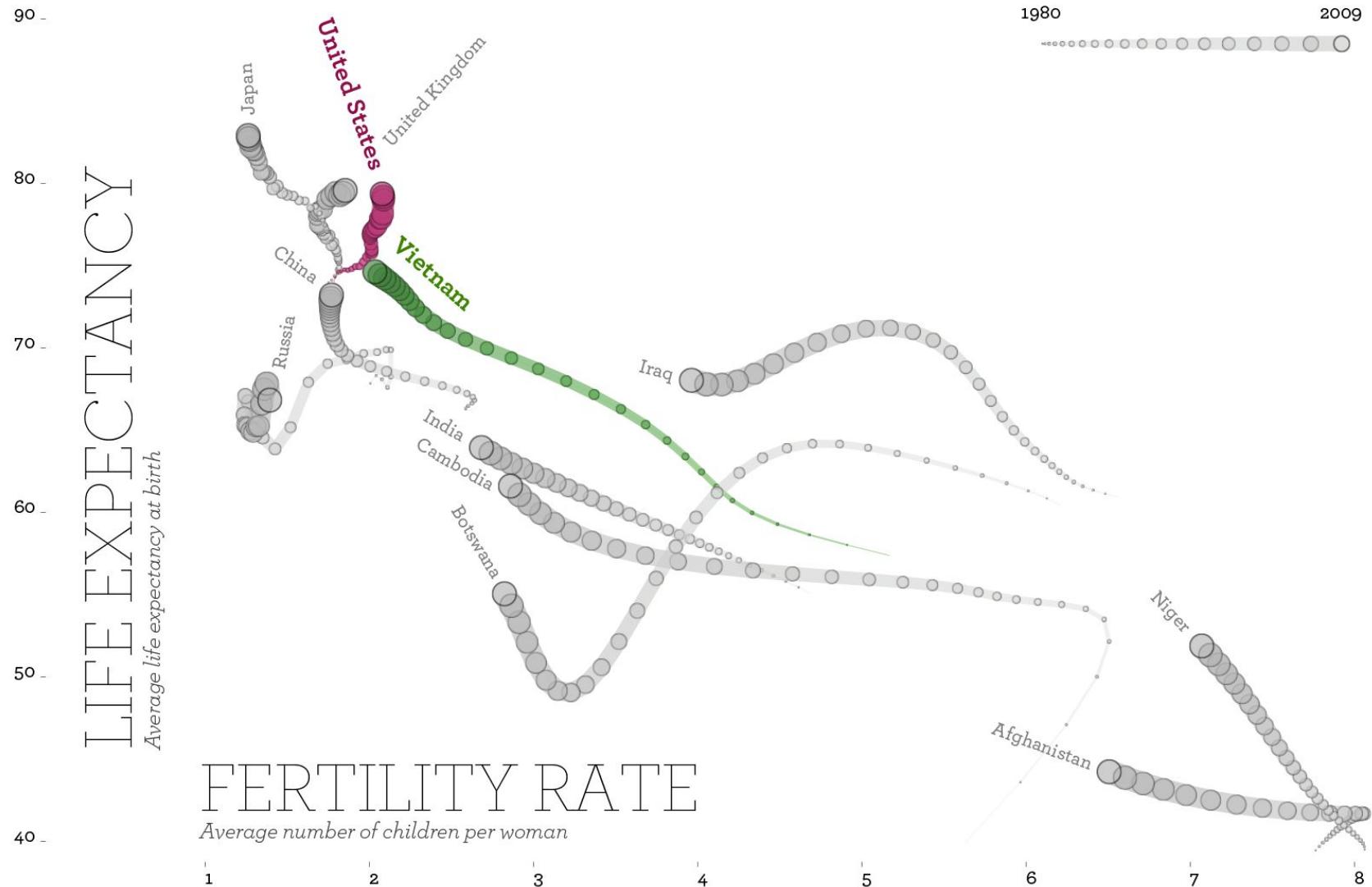
But the latest recession has caused some big changes. High unemployment meant that fewer people were driving to work, and a slump in consumer spending

meant that less freight needed to be moved around the country. As gas prices soared in 2005, the number of miles driven — including commercial and personal — began to fall, and continued to drop after 2008 even as gasoline became cheaper.

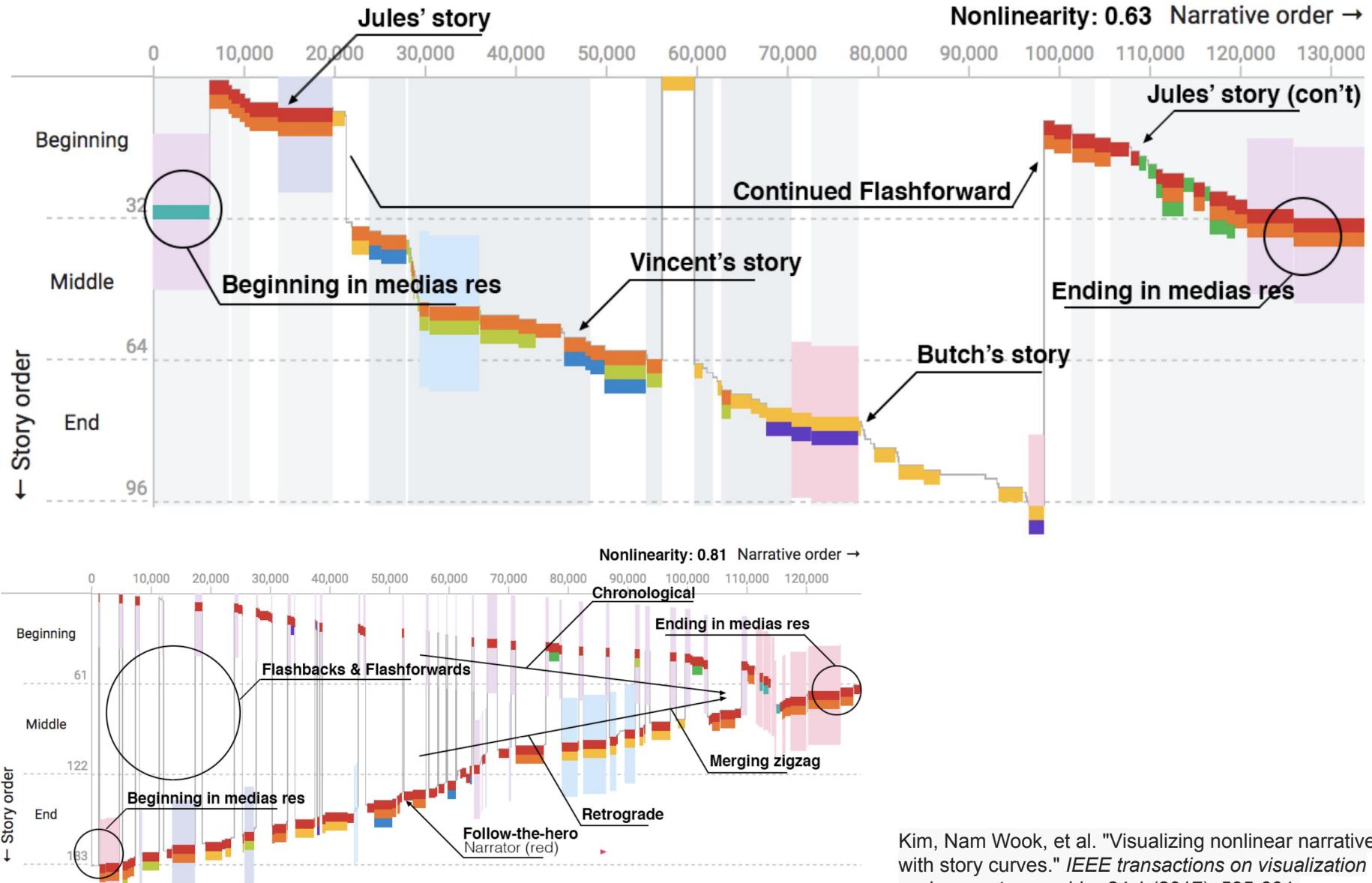
"People were surprised by the very rapid rise in gas prices, and they changed their driving behavior," said Kenneth A. Small, a transportation economist at the University of California, Irvine. "But my suspicion is that it is temporary. As soon as unemployment gets back to pre-recession levels, we will see Americans doing a lot more driving again."



# Connected Scatterplots: encoding time



# Time vs. Time: Story Curves



Kim, Nam Wook, et al. "Visualizing nonlinear narratives with story curves." *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 24.1 (2017): 595-604.

# Time Curves

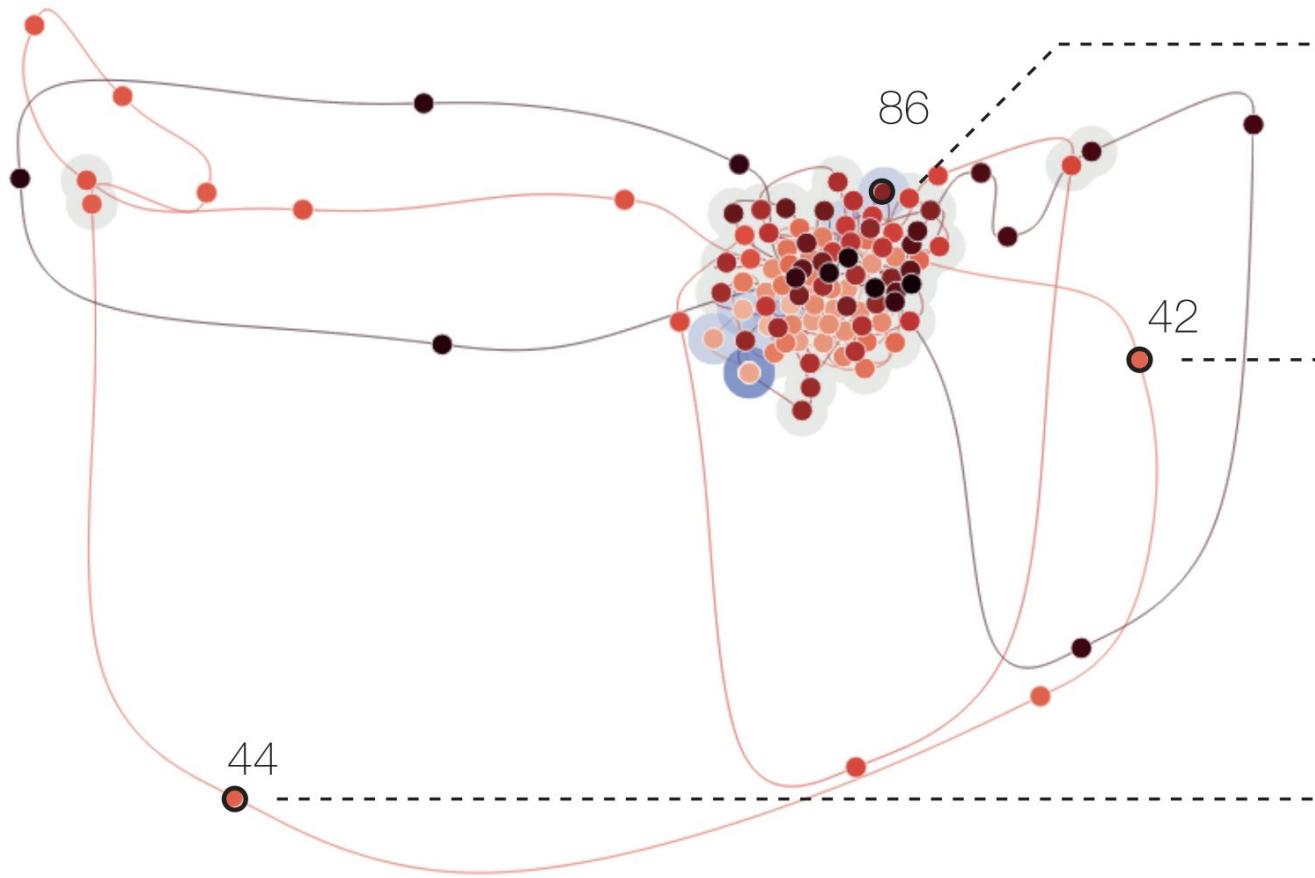
## Creation

### Timeline:



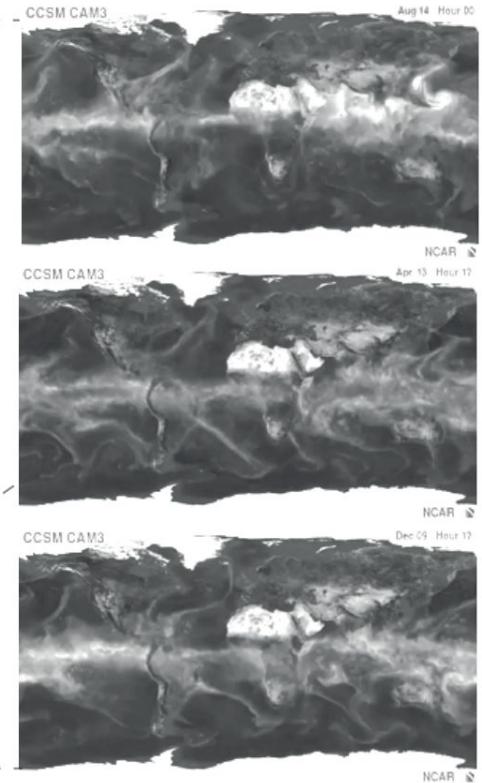
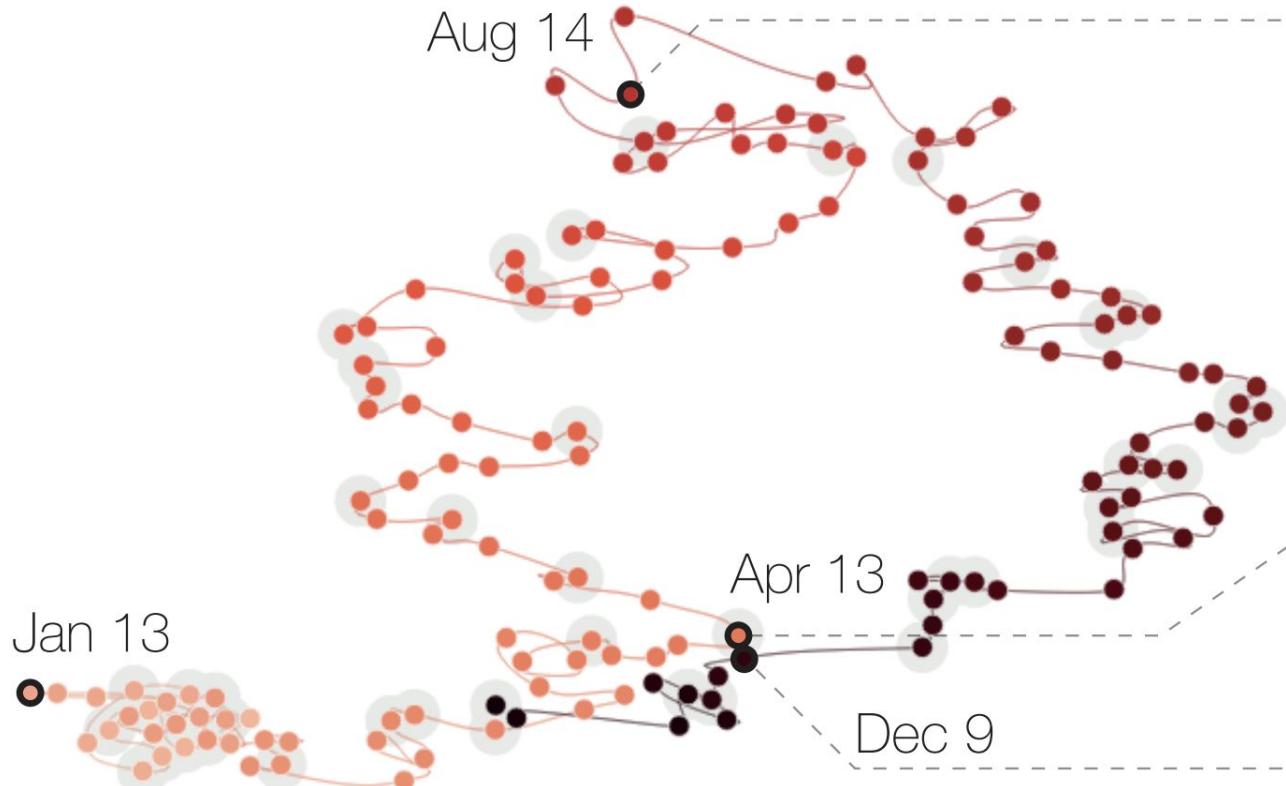
Circles are data cases with a time stamp.  
Similar colors indicate similar data cases.

# Time Curves

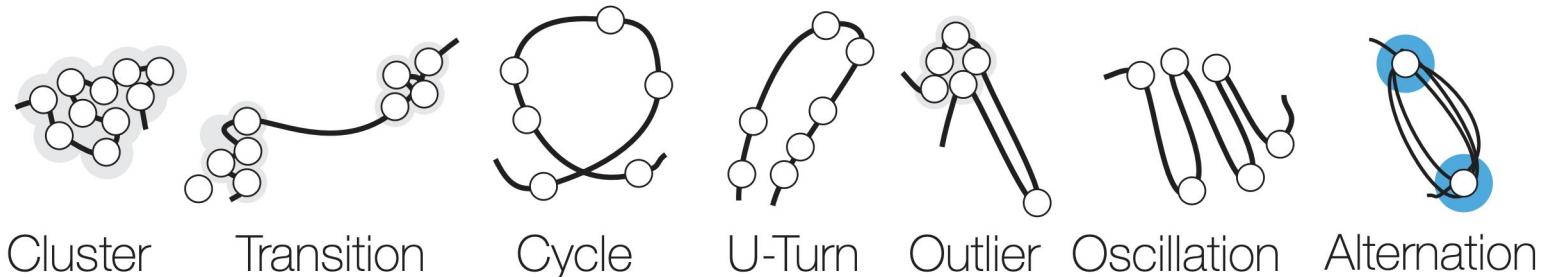


Bach, Benjamin, et al. "Time curves: Folding time to visualize patterns of temporal evolution in data." *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 22.1 (2016).

# Time Curves: Climate



# Time Curves: Visual Patterns



**Degree of stagnation**  
progressing



**Degree of oscillation**  
no oscillation



**Self-intersection**  
no intersection



**Point density**  
sparse

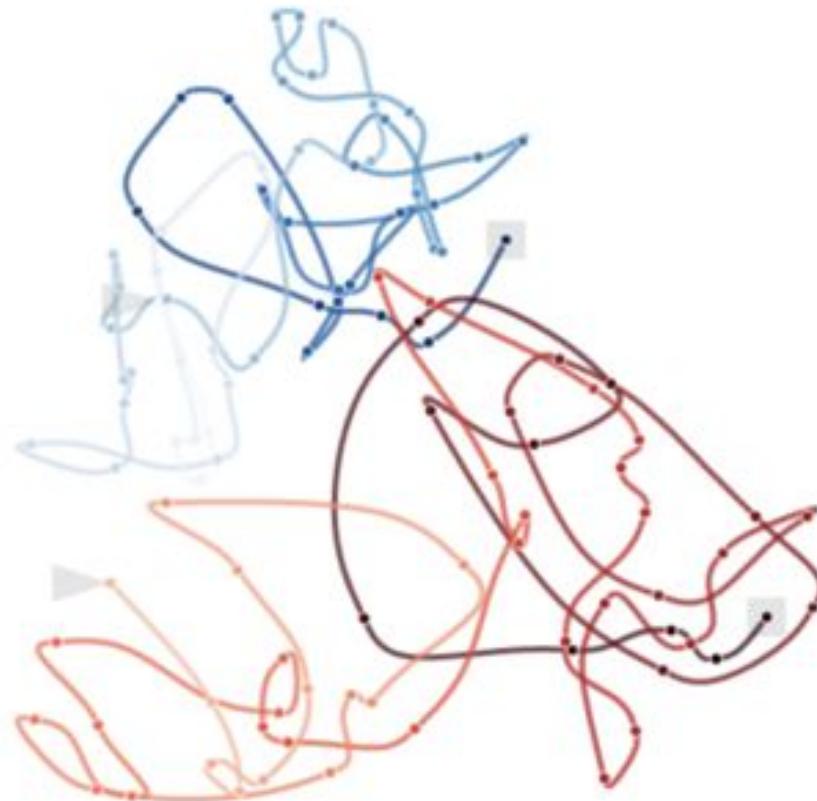


**Irregularity**  
regular



# Time Curves

- + Amount of change
- + Signatures
- + Comparison
- Details
- Artifacts due to projection
- Non-trivial



# Trajectories

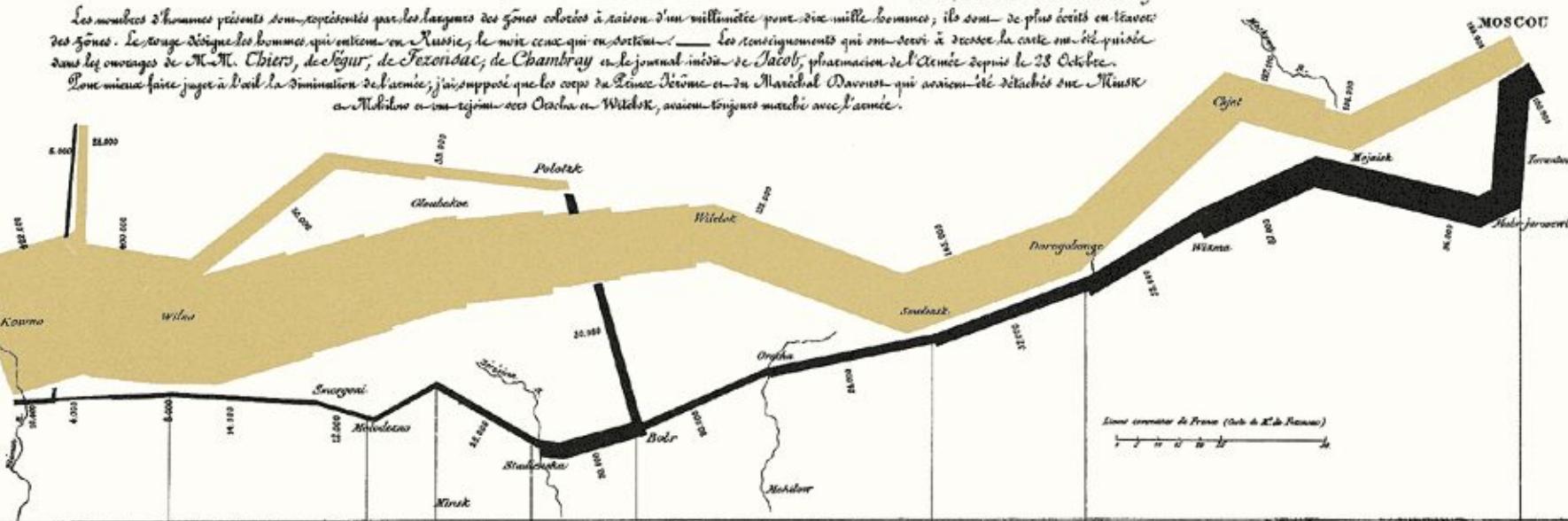
*Carte Figurative des pertes successives en hommes de l'Armée Française dans la Campagne de Russie 1812-1813.*

*Dessiné par M. Minard, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées et extrait*

*Paris, le 20 Novembre 1869*

*Les nombres d'hommes perdus sont représentés par les largesses des zones colorées à raison d'un millimètre pour dix mille hommes; ils sont de plus écrits en lettres sur ces zones. Le rouge désigne les hommes qui entrent en Russie, le noir ceux qui en sortent. — Les renseignements qui ont servi à dresser la carte ont été pris dans les ouvrages de M. Chabot, de Liger, de Tocqueville, de Chambray et le journal intime de Jacob, pharmacien de l'Armée depuis le 28 Octobre.*

*Pour mieux faire juger à l'œil la diminution de l'armée, j'ai supposé que les corps de l'Armée l'entraient du Maréchal Davout qui avaient été détachés sur Moscou au Nihilov et qui rejoignirent Orelle au Wilek, avaient toujours marché avec l'armée.*



*TABLEAU GRAPHIQUE de la température en degrés du thermomètre de Réaumur au dessous de zéro.*

*Les Cosaques passent au galop le Nilman, gelé.*

*- 16° le 2 X.<sup>me</sup>*

*- 30° le 6 X.<sup>me</sup>*

*- 24° le 1<sup>er</sup> X.<sup>me</sup>*

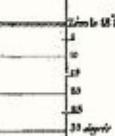
*- 20° le 28 9.<sup>me</sup>*

*- 11°*

*- 21° le 14 0.<sup>me</sup>*

*- 8° le 9 9.<sup>me</sup>*

*Fin 24 8.<sup>me</sup>*



*Imp. Int. Requin et Bourdeau.*

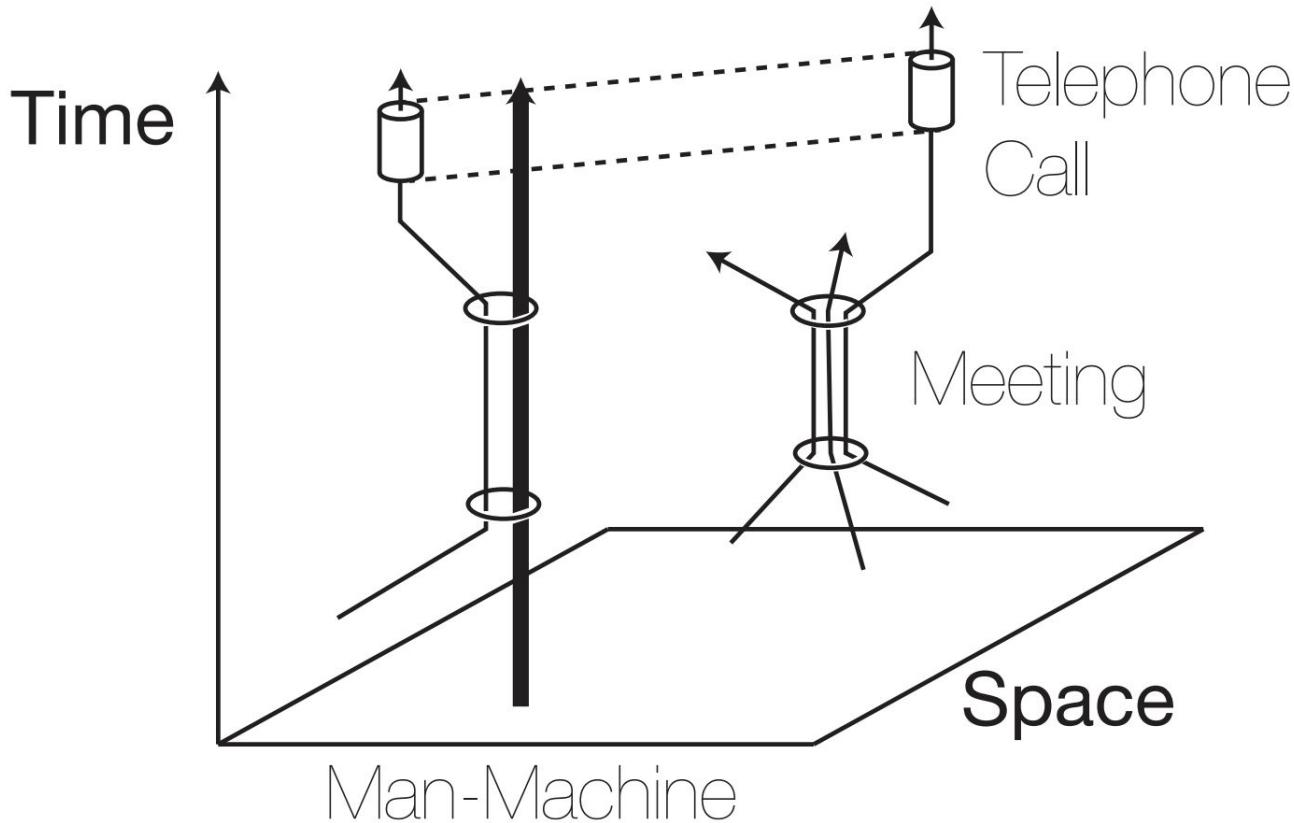
Charles Joseph Minard (1781-1870)

# Space-Time Cubes



# **Space Time Cubes**

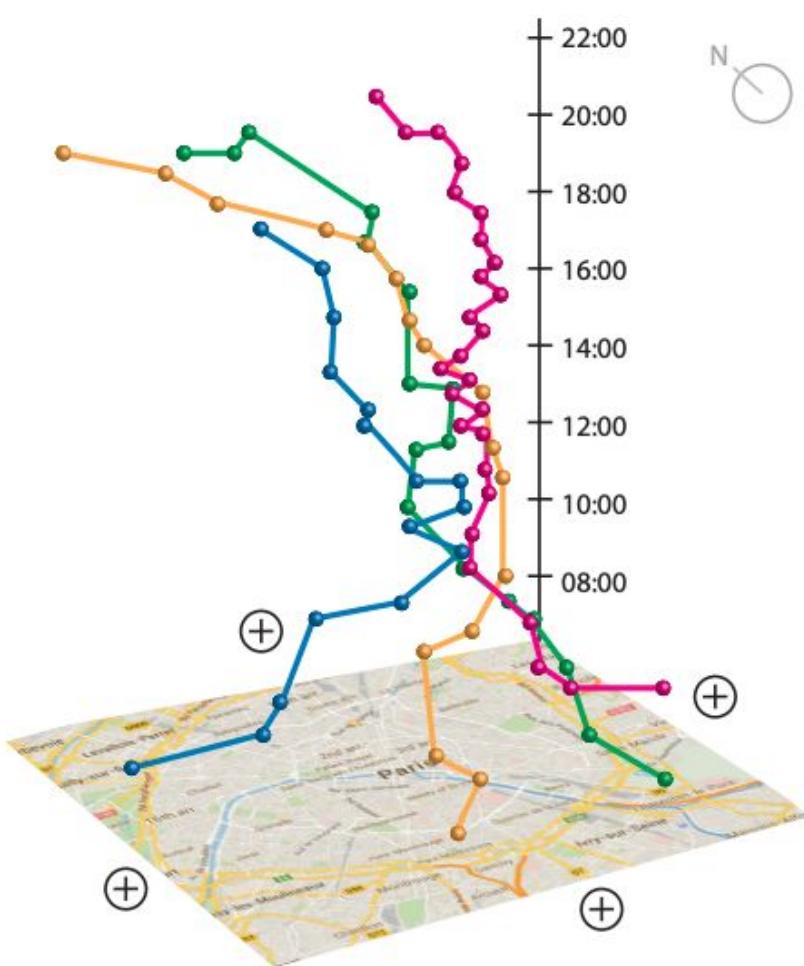
# Space-Time Cubes



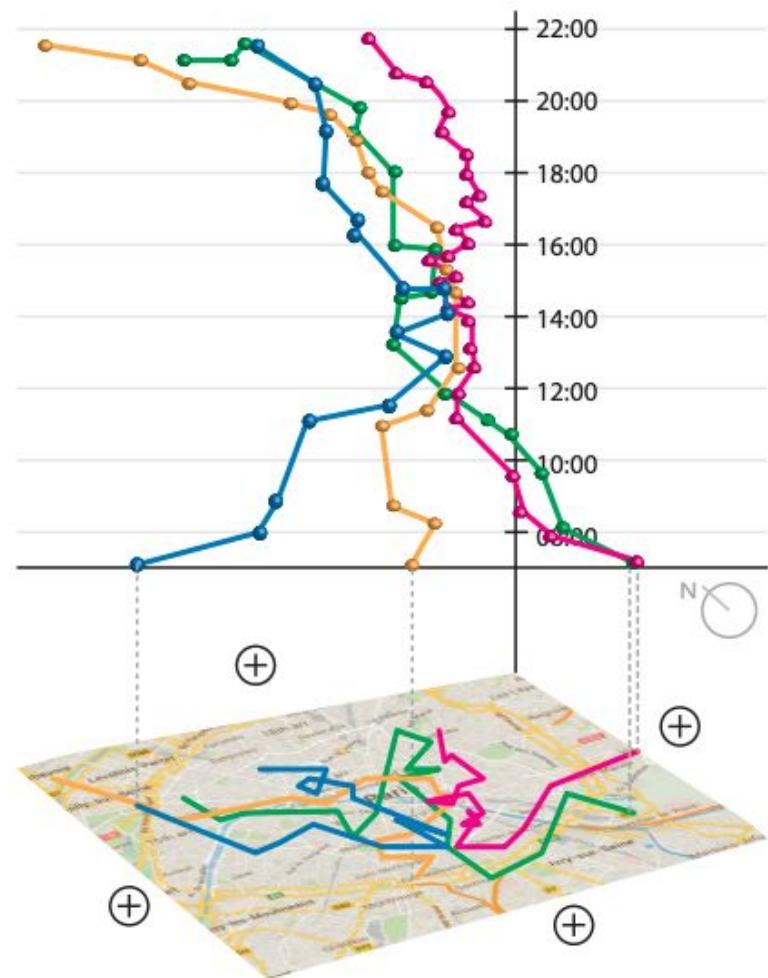
Ilägrstrand, Torsten. "What about people in regional science?." *Papers of the Regional Science Association*. Vol. 24. 1970.

Kraak, Menno-Jan. "The space-time cube revisited from a geovisualization perspective." *Proc. 21st International Cartographic Conference*. Citeseer, 2003.

# Space-Time Cubes

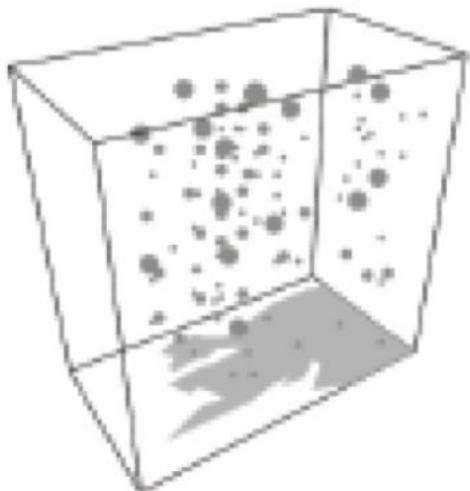


(a) 3D rendering

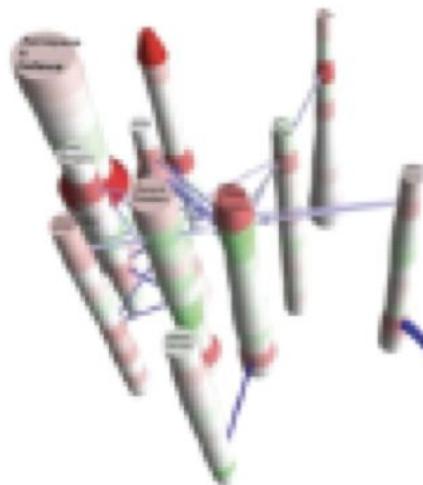


(b) Space flattening (on top)

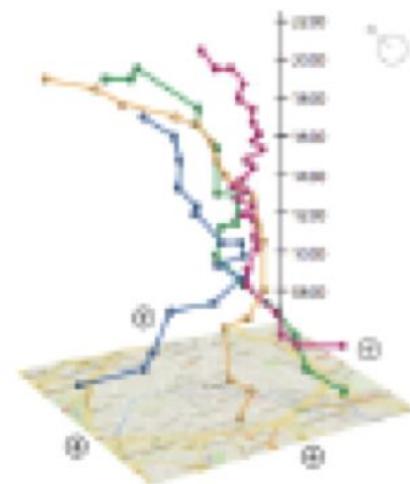
# Space time cubes everywhere!



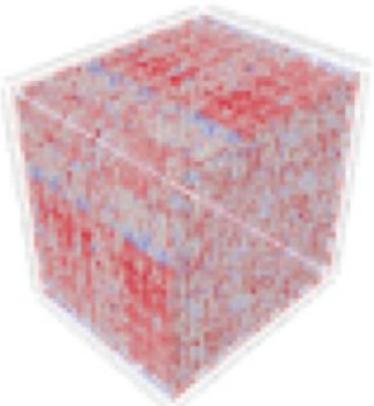
Earthquakes



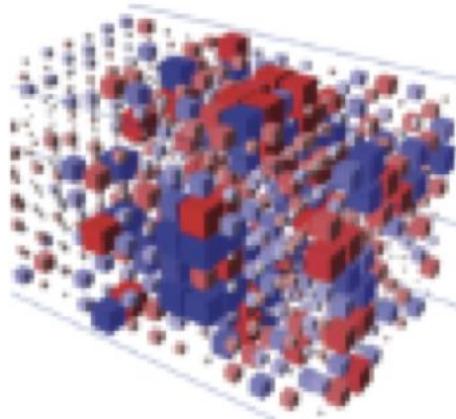
Finance network



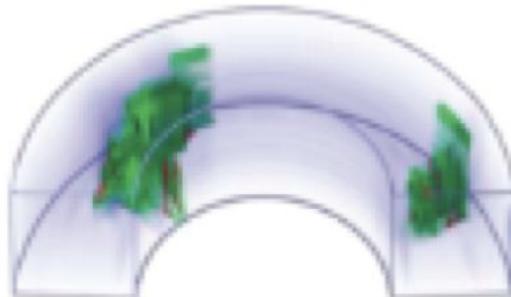
Person movement



Antenna  
communication



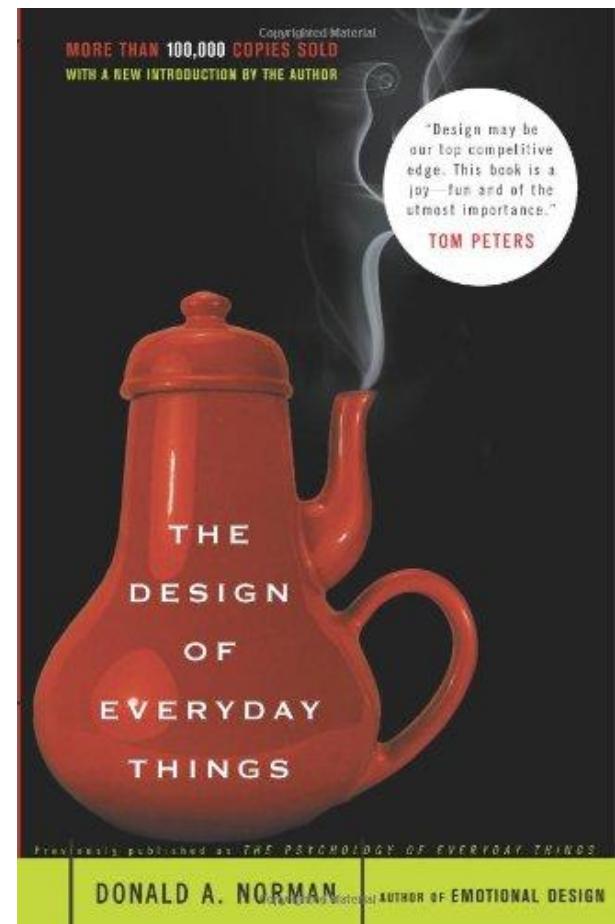
Brain connectivity



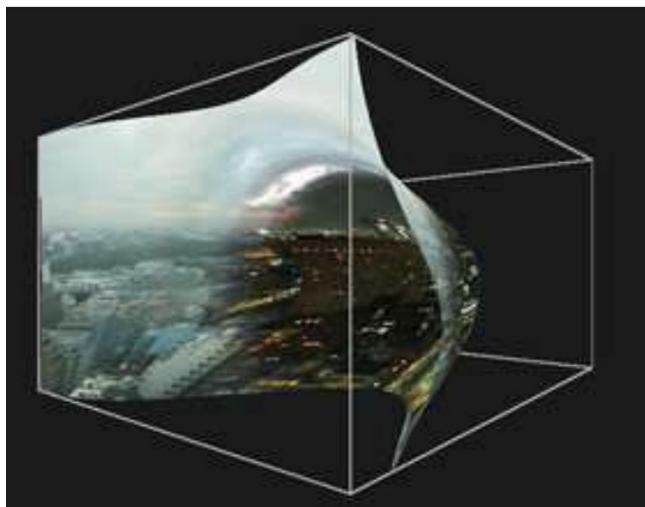
Surveillance video

# A word on 3D visualization

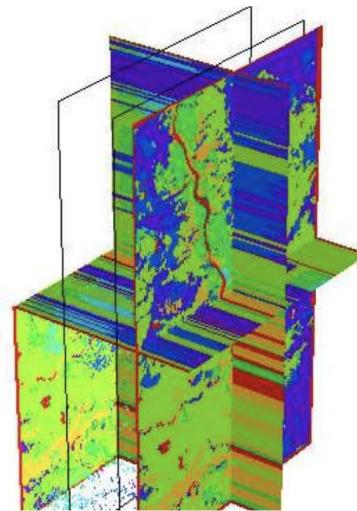
- Causes occlusion
  - Perspective distortion
  - Interaction required
  - Orientation might be tricky
- 
- Use 3D as *interaction affordances*
  - Use 3D as *thinking tools and metaphors*



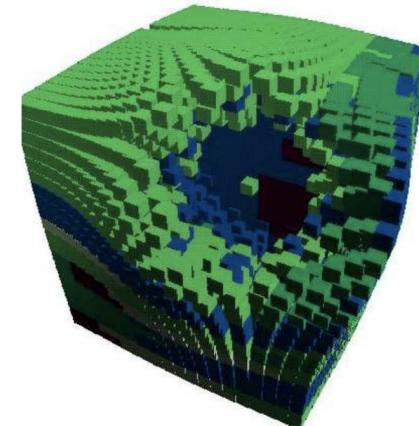
# Interactive Exploration



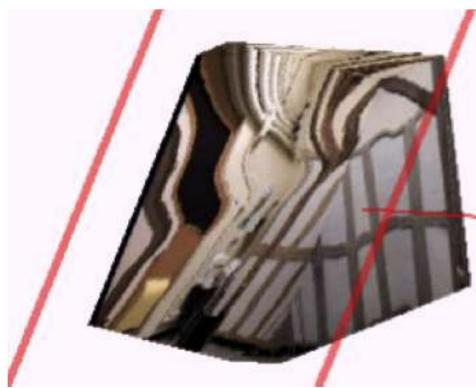
"Poke"-access



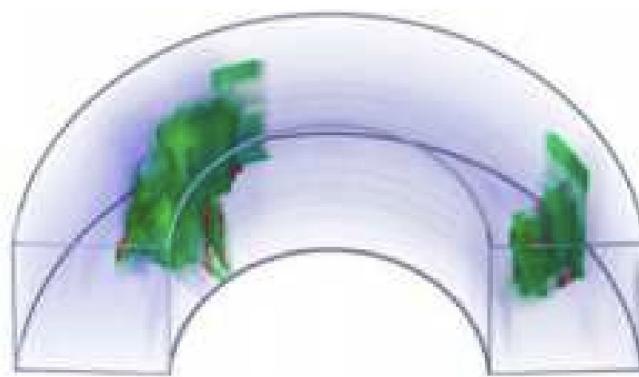
Cutting plane



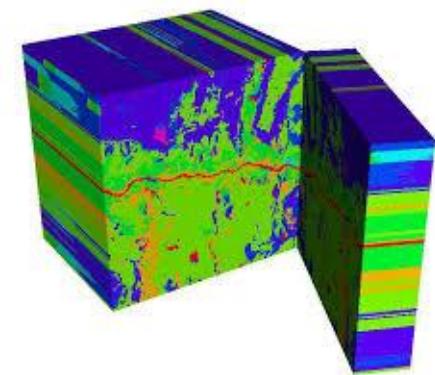
Mouse access



Cutting plane



Transparency  
+ bending



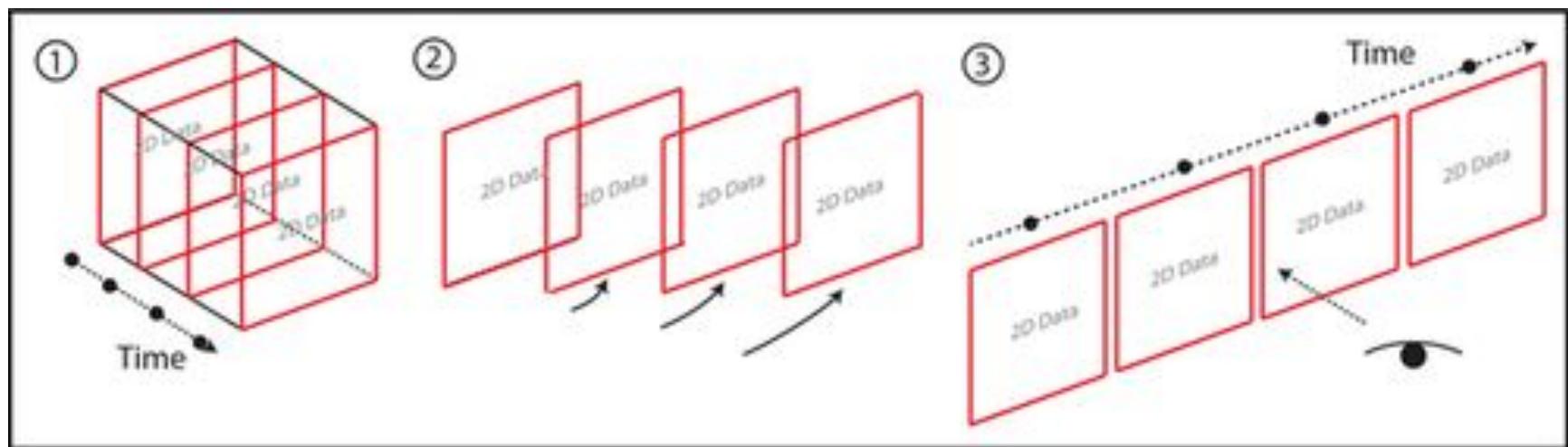
Opening

# Interactive Exploration

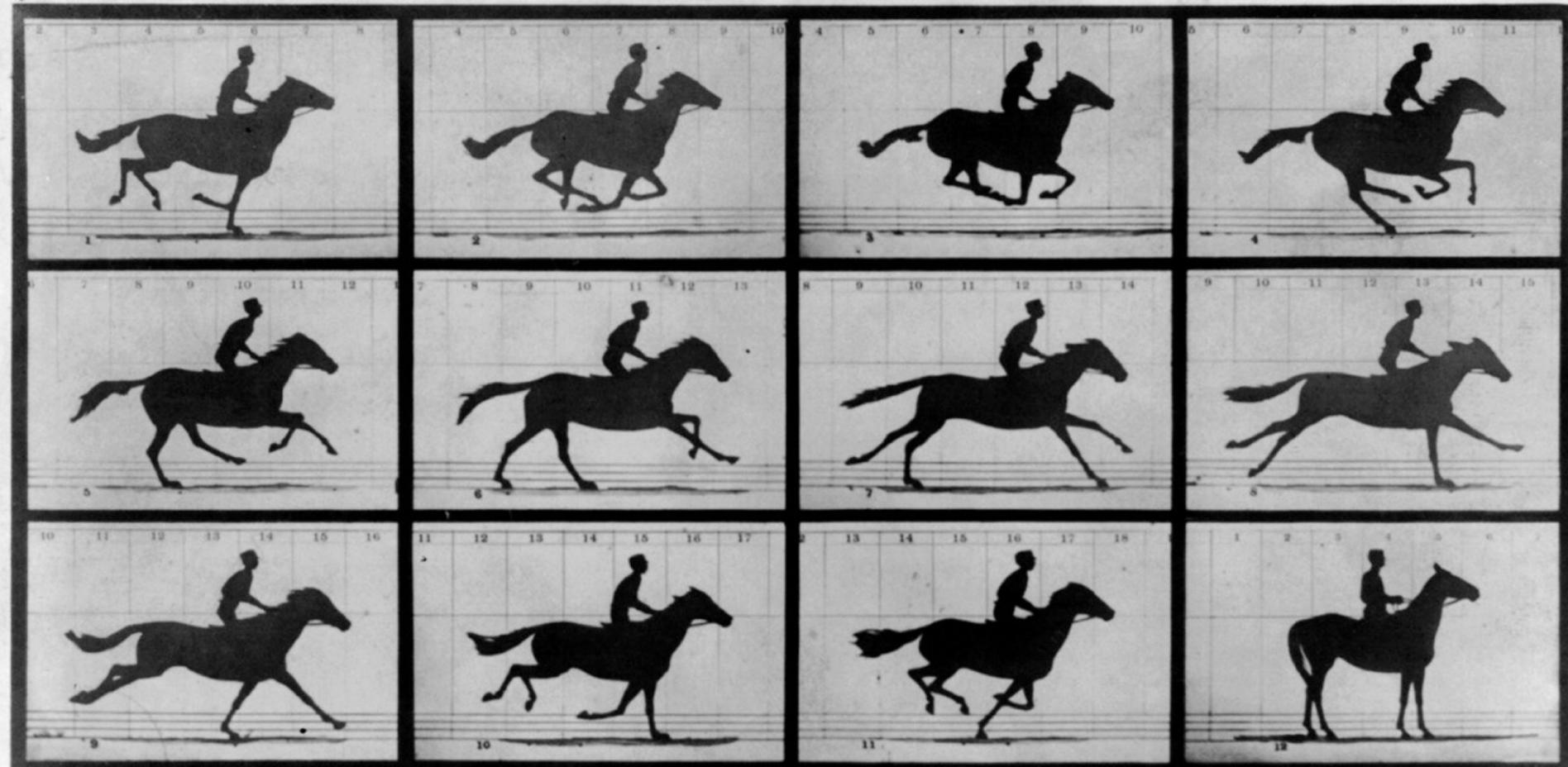


Small Time Multiples

# Operations



# Eadward Muybridge: Chrono photography



Copyright, 1878, by MUYBRIDGE.

MORSE'S Gallery, 417 Montgomery St., San Francisco.

## THE HORSE IN MOTION.

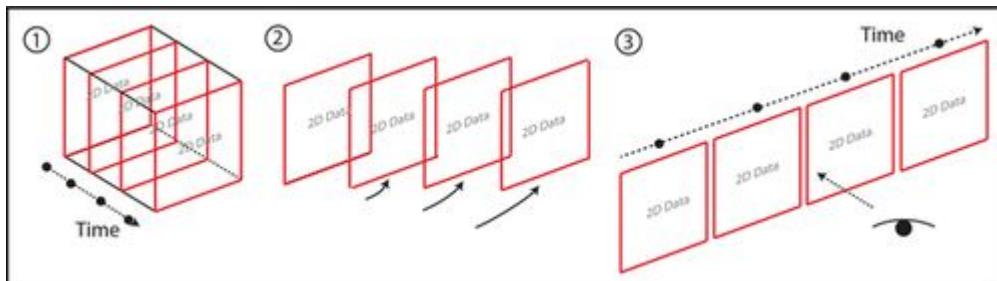
Illustrated by  
**MUYBRIDGE.**

"SALLIE GARDNER," owned by LELAND STANFORD; running at a 1.40 gait over the Palo Alto track, 19th June, 1878.

The negatives of these photographs were made at intervals of twenty-seven inches of distance, and about the twenty-fifth part of a second of time; they illustrate consecutive positions assumed in each twenty-seven inches of progress during a single stride of the mare. The vertical lines were twenty-seven inches apart; the horizontal lines represent elevations of four inches each. The exposure of each negative was less than the two-thousandth part of a second.

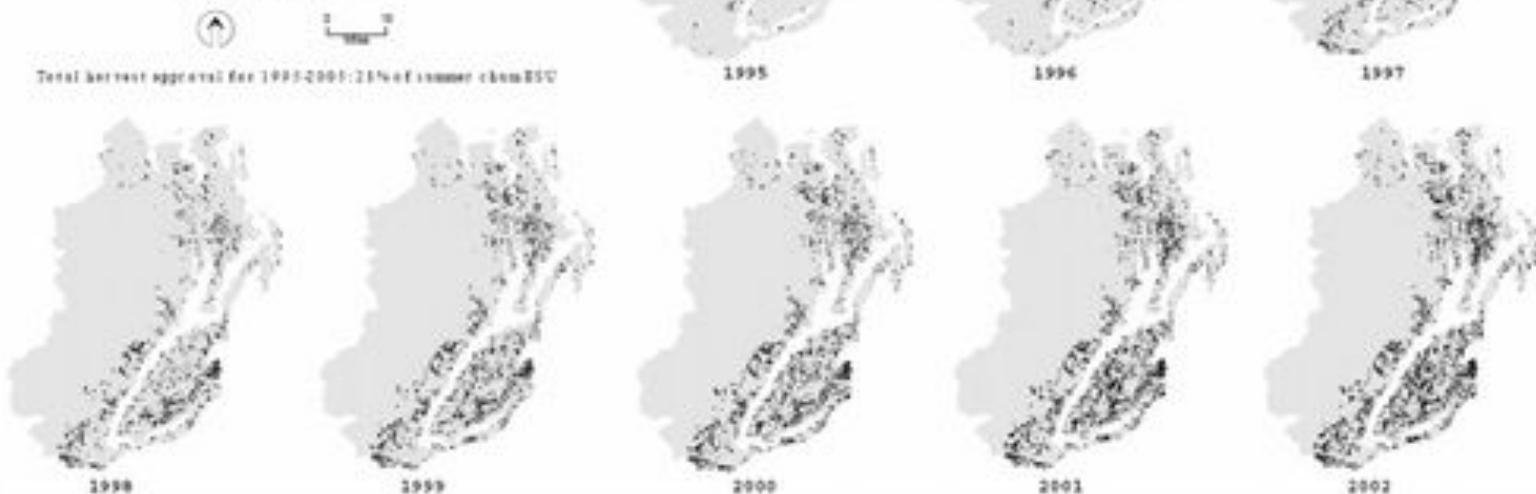
AUTOMATIC ELECTRO-PHOTOGRAPHIC

# Small Multiples



## Approved Harvest Applications By Year

Location: Head Coast timber claim EUC  
Shows: Approved forest practice applications (FPA)  
of type cutting or removing timber  
and  
Harvests in Olympic National Forest  
Sources: Washington Dept. Natural Resources  
U.S. Forest Service, Quill Creek  
Dates: FPA approvals as renewal date  
ONF harvest date



# Flow Diagram Small Multiples

## LÉGENDE — Quantités et couleurs pour chaque Pays de provenance.

	Etats-Unis	Inde (Indochine)	Océan	Egypte	Séné.	Total Amériques ou Asie/Afrique importées
Importations des années...	322.000 <sup>t</sup>	76.200 <sup>t</sup>	41.200 <sup>t</sup>	8.400 <sup>t</sup>	150.000 <sup>t</sup>	531.000 <sup>t</sup>
1858	348.000 <sup>t</sup>	108.000 <sup>t</sup>	27.000 <sup>t</sup>	8.400 <sup>t</sup>	150.000 <sup>t</sup>	623.400 <sup>t</sup>
1864	28.000 <sup>t</sup>	109.000 <sup>t</sup>	27.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	156.000 <sup>t</sup>
1865	36.000 <sup>t</sup>	109.000 <sup>t</sup>	27.000 <sup>t</sup>	12.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	165.000 <sup>t</sup>
1866	58.100 <sup>t</sup>	109.000 <sup>t</sup>	26.000 <sup>t</sup>	12.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	166.100 <sup>t</sup>
1867	56.100 <sup>t</sup>	109.000 <sup>t</sup>	26.000 <sup>t</sup>	12.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	167.100 <sup>t</sup>
1868	54.100 <sup>t</sup>	109.000 <sup>t</sup>	26.000 <sup>t</sup>	12.000 <sup>t</sup>	10.000 <sup>t</sup>	168.100 <sup>t</sup>

Importation plus forte que celle de 1858, malgré les énormes réductions de la guerre civile, à cause de la vente de sucre de l'Amérique.  
 2. Autre diminution due à la guerre civile, le chiffre est encore plus fort en quelques années récentes dépassant même l'Asie.  
 3. Importation des Etats-Unis dans les deux dernières années étant plus forte que les deux autres importations.  
 4. Importation des Etats-Unis portée à la Chine par voie maritime pour être vendue aux États-Unis.  
 5. Diminution considérable pour les arrivées sous nouvelles plantations du Vieux Monde.  
 6. Importation des Etats-Unis par le Mexique et l'Angleterre de sucre brésilien dépassant toutefois ceux de l'Asie.  
 7. Importation des plantes en cours de croissance dans l'Asie et sous pavillon russe de l'Asie.  
 8. Importation des plantes en cours de croissance dans l'Asie et sous pavillon russe de l'Asie.  
 9. Importation des plantes en cours de croissance après la guerre par le Japon.

## CARTE figurative et approximative des quantités de COTON BRUT importées en Europe en 1858 en 1864 et en 1865.

Dressée par M<sup>e</sup> MINARD, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite.  
 Paris, le 14 Mai 1866.

Les tonnages de coton transportable sont représentés par les longueurs des voies éclusées à raison d'un millième pour cinq milles  
 horaires, de sorte de plus explicable par les nombres écrits au tracé de la voie et dont l'unité est visible toutes.

Les Cartes ont été dressées sur les Documents du Bureau Français, Anglais, Belges, Hollandais, Autrichiens,  
 Le Dictionnaire du Commerce, le Trade of cotton de M.L.A. Munn, la revue commerciale et la publication Bradford de Liverpool,  
 le Merchant's Almanac de New-York, l'annuaire de Londres, la curiosité Cope d'Alexandria etc.

Observation: Les importations sont un peu plus fortes que celles de la Carte previous je ne saurais offrir d'une autre source et que les Données donnent en bleu les très petites importations de toute provenance, je n'en ai pas jusqu'à ce rapport.

## De l'importation du Coton en 1858.

La guerre Civile des Etats-Unis dans des plantes nouvelles depuis que la guerre civile des Etats-Unis d'Amérique a commencé, mais dans le présent état les portes de l'Asie par conséquent de moins en moins importé plus en 1860 qu'en 1858. L'expansion de l'Asie et de la Chine, alors des nombreux importateurs de l'Europe, ont rendu plus difficile de venir à l'Europe pour l'importation et en tout cas pour les deux dernières années à Mexico et à Liverpool. Il y a donc une diminution dans les arrivées de l'Asie pour les producteurs de cette partie mondiale.

Toutefois l'importation de 1858 est encore d'un caractère assez distinct de ce qu'il était avant la guerre.

En réalité des importations diverses, qui jadis se trouvaient à bord, des navires importants dans l'Asie, sont maintenant presque tous à bord et débarqués à Liverpool ou à Bruxelles ou à Anvers, et dans les ports de l'Asie, les marchandises sont déchargées sur le bord et vers les mers, et transportées ainsi indépendamment de ceux de la Compagnie Néerlandaise Ouest et de la Compagnie des Messageries Impériales.

Cette très grande partie des navires de la Compagnie de l'Asie, sont utilisés après l'exploitation du Canal de Suez, avec cette cause après l'exploitation du Canal de Suez, avec cette cause.

possible pour le reste de l'Asie continue traversant le Maroc et la Mer Caspienne. C'est ce qui est au plus élevé.

Ensuite nous venons à la liste approximative des trois plus grands producteurs de sucre. L'Asie fait faire par conséquent le meilleur, mais dans le présent état ce sont les portes de l'Asie qui sont accompagnées par l'importation de l'Europe, soit dans le plus petit nombre possible, mais dans le plus grand nombre possible, et ce sont les deux dernières années à Mexico et à Liverpool. Il y a donc une diminution dans les arrivées de l'Asie pour les producteurs de cette partie mondiale.

Toutefois l'importation de 1858 est encore d'un caractère assez distinct de ce qu'il était avant la guerre.

En réalité des importations diverses, qui jadis se trouvaient à bord, des navires importants dans l'Asie, sont maintenant presque tous à bord et débarqués à Liverpool ou à Bruxelles ou à Anvers, et dans les ports de l'Asie, les marchandises sont déchargées sur le bord et vers les mers, et transportées ainsi indépendamment de ceux de la Compagnie Néerlandaise Ouest et de la Compagnie des Messageries Impériales.

Cette très grande partie des navires de la Compagnie de l'Asie, sont utilisés après l'exploitation du Canal de Suez, avec cette cause.

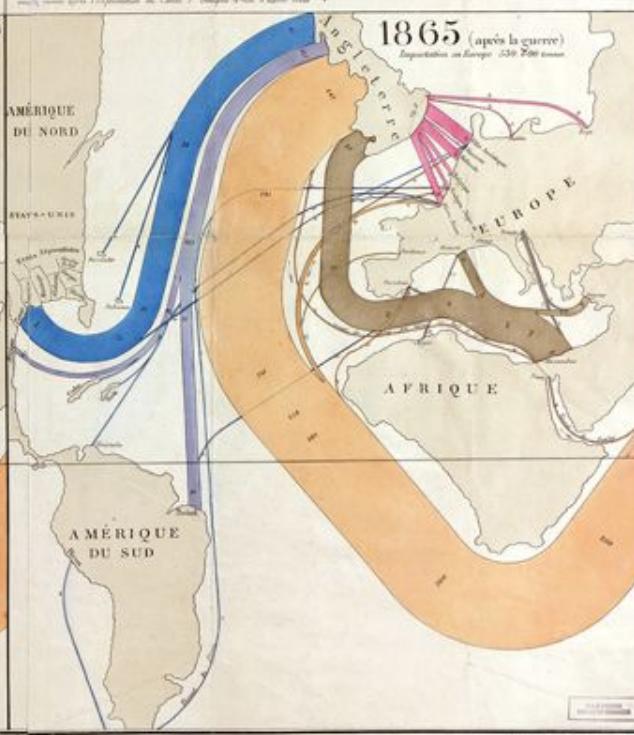
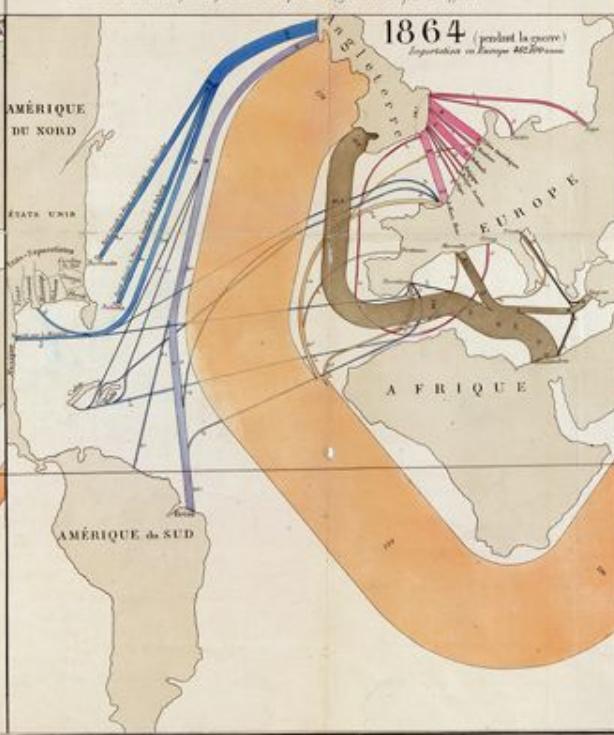
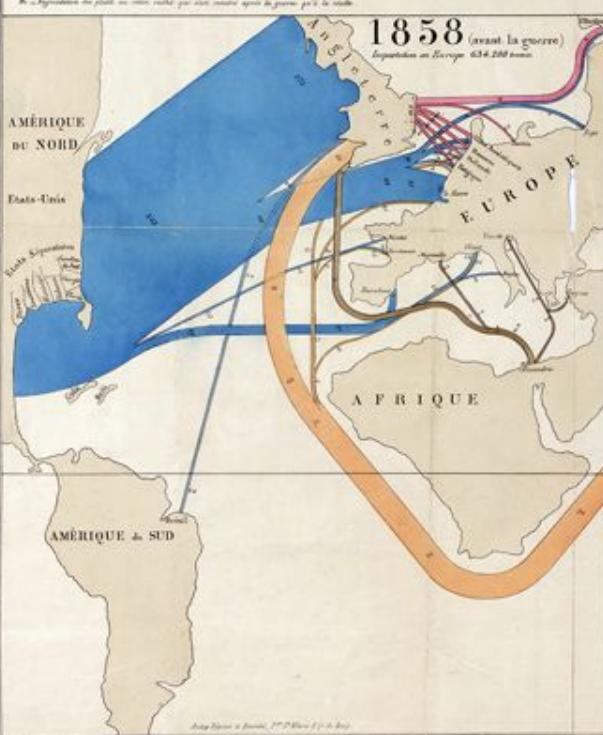
Ensuite nous venons à l'Asie, où nous devons pour l'Asie, et pour l'Europe.

Voici les grands places productrices, quant aux détails, je ne saurais dire.

qui se trouvent presque à Liverpool, il n'est pas probable que ce pays entende dans la nature. Mais d'autre part il sera nécessaire de faire pour assurer

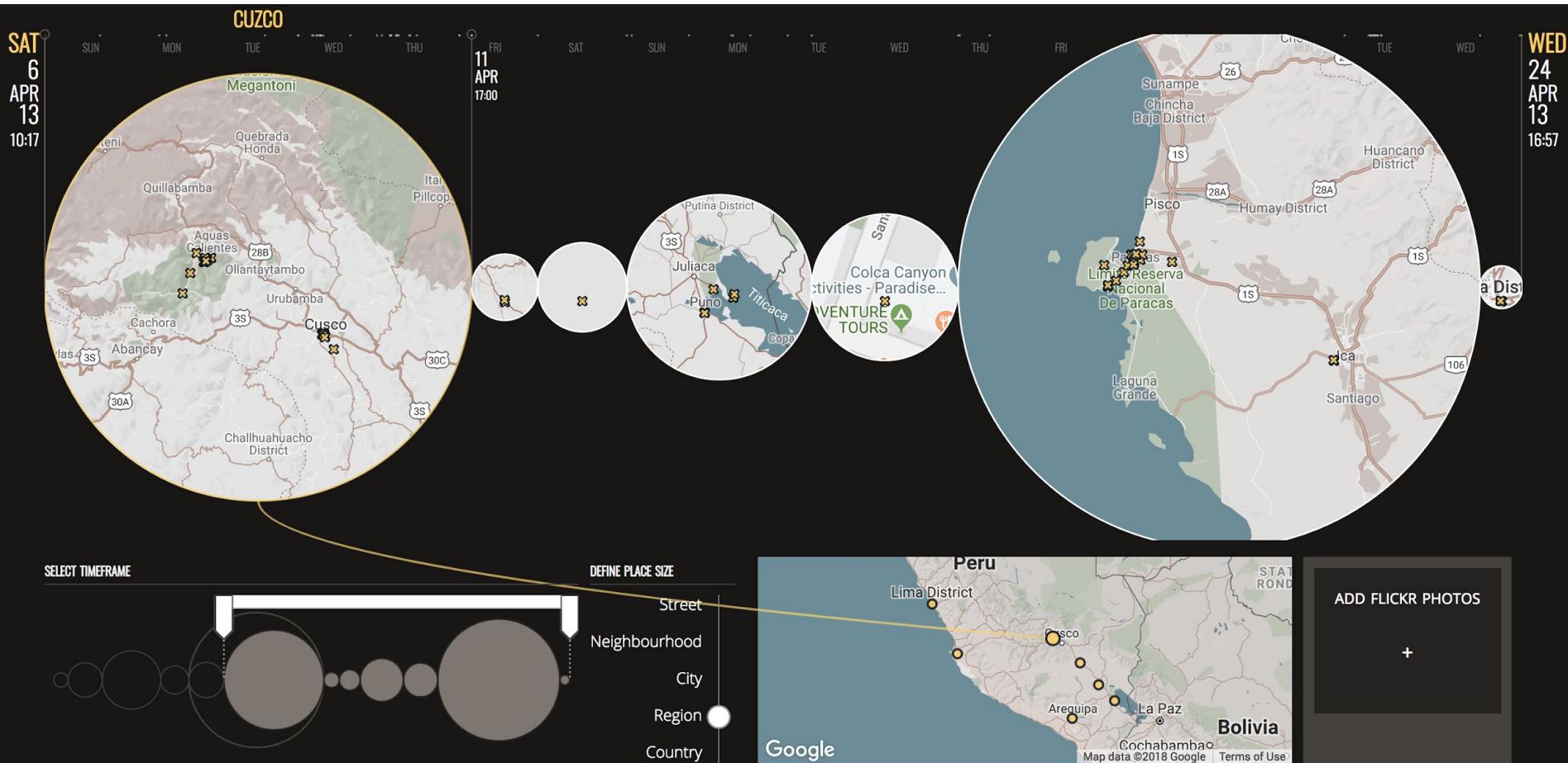
à la vie de quatre millions de ses habitants. Mais dans le cas contraire sans les producteurs russes, ces personnes auront à faire pour lui et pour l'Europe.

et pour assurer l'approvisionnement du reste du monde.



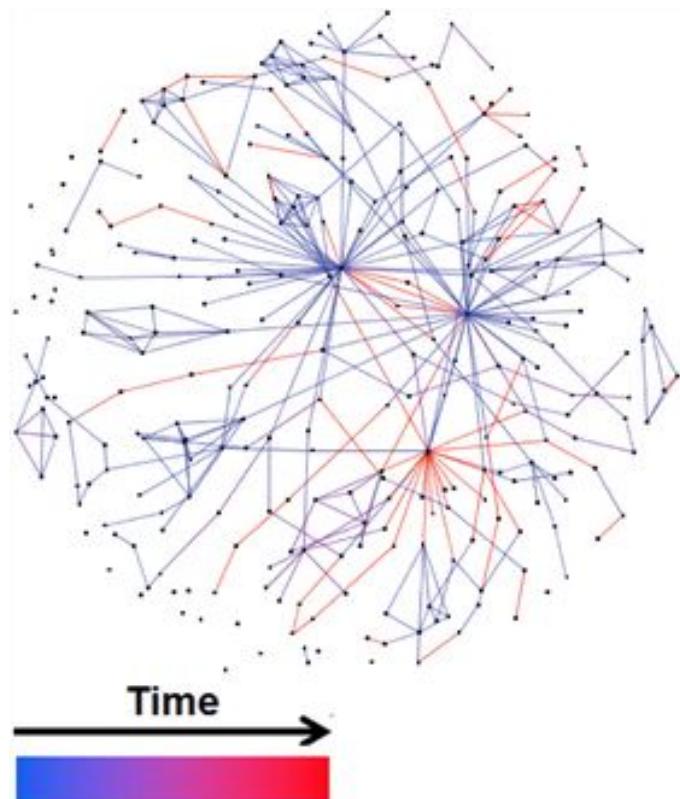
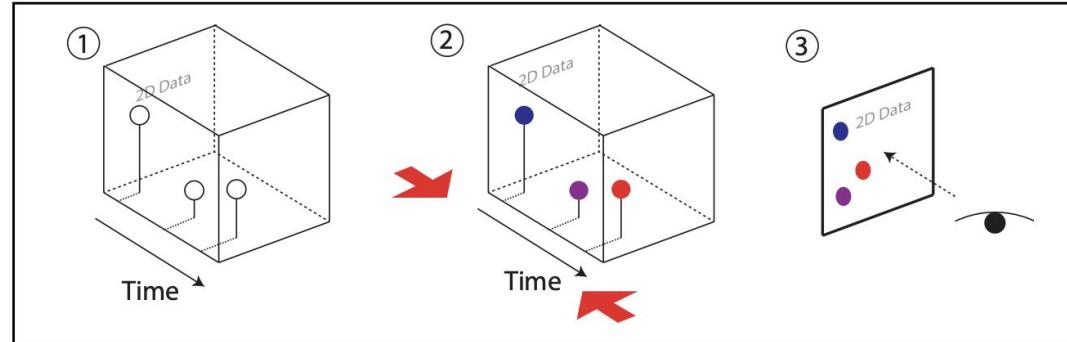
Joseph Minard

# Small Multiples



Thudt, Alice, Dominikus Baur, and Sheelagh Carpendale. "Visits: A Spatiotemporal Visualization of Location Histories." *EuroVis (Short Papers)*. 2013.

# Coloring+ Flattening

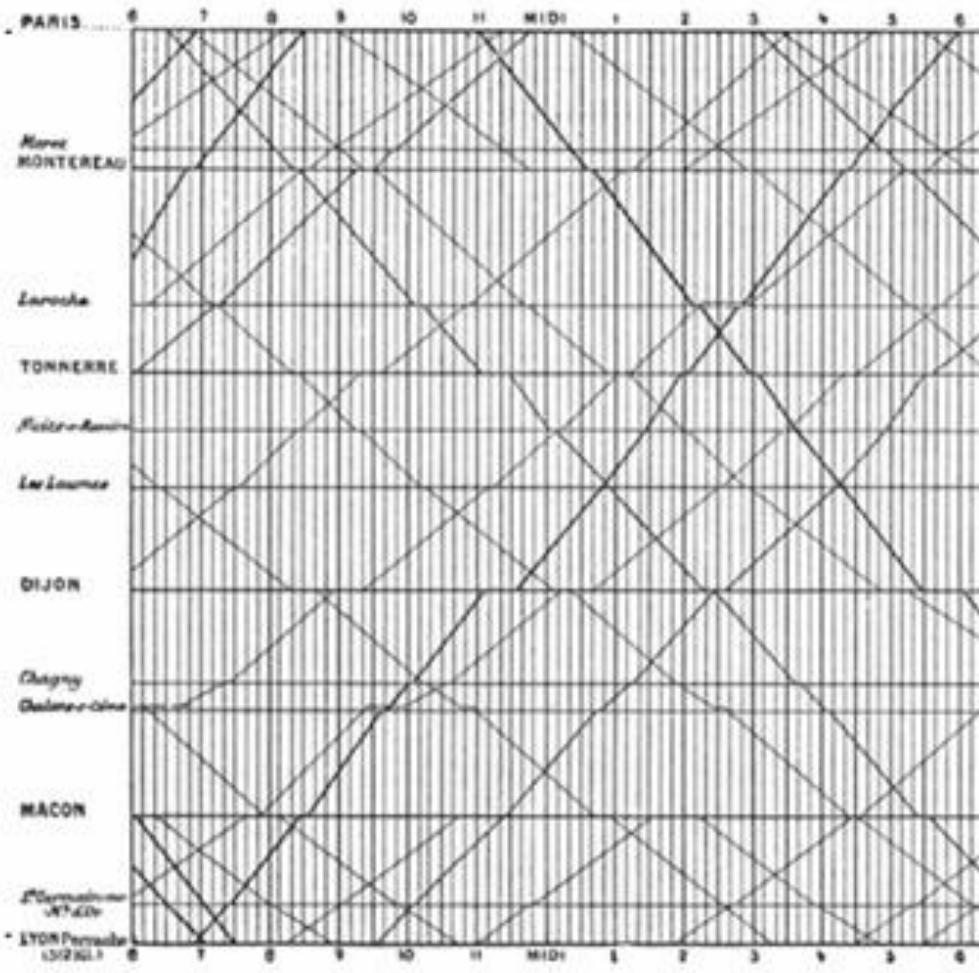
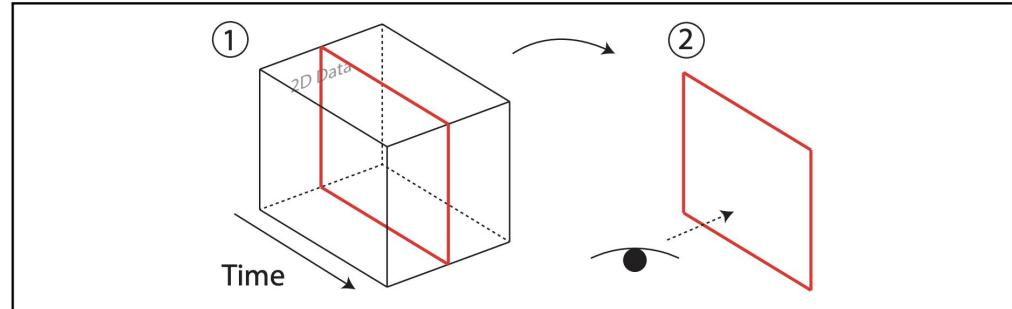


(a)

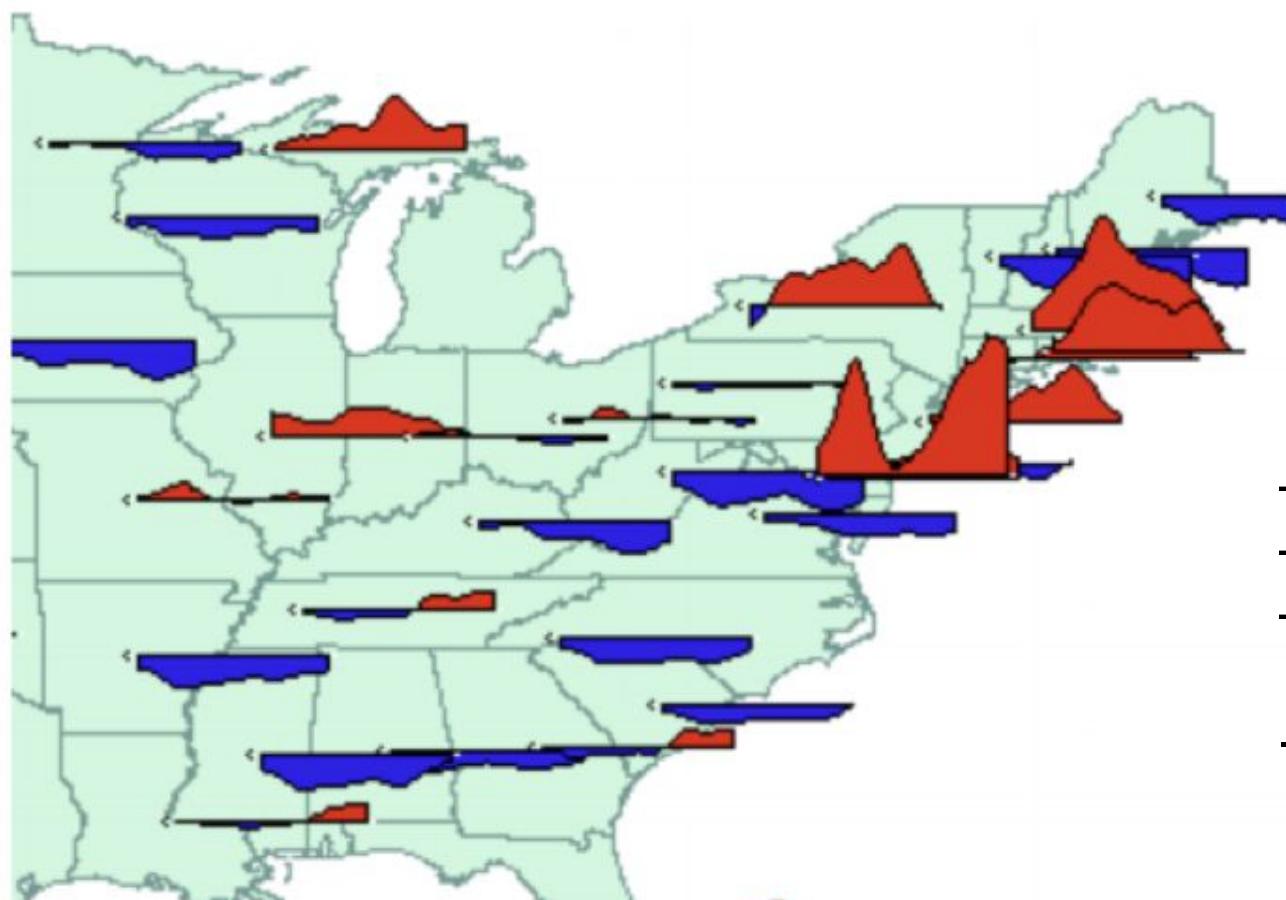
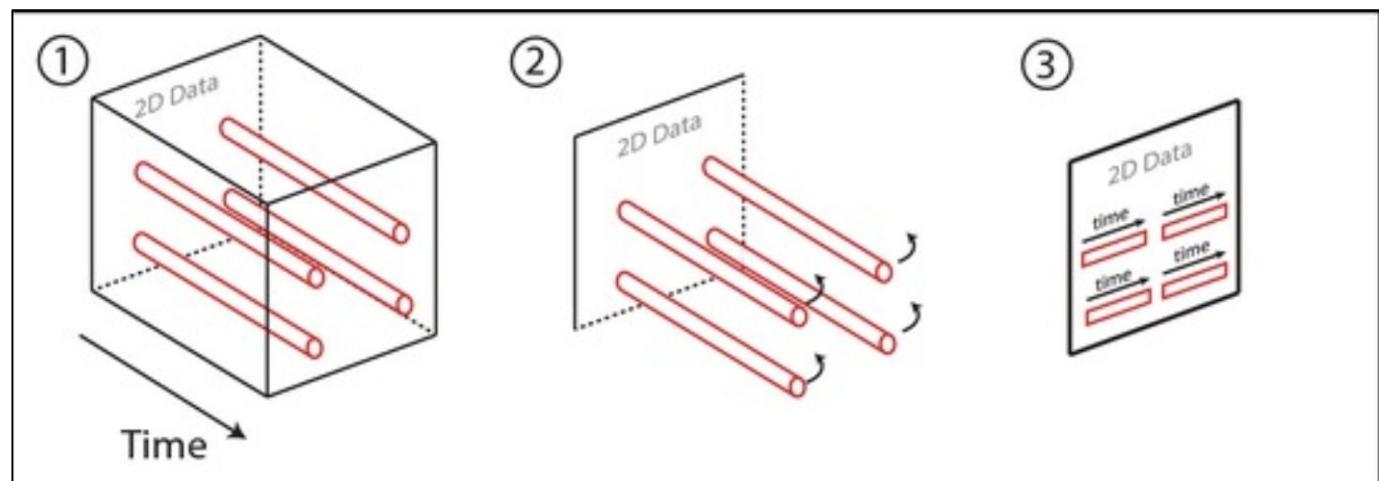


(b)

# Cross-cutting

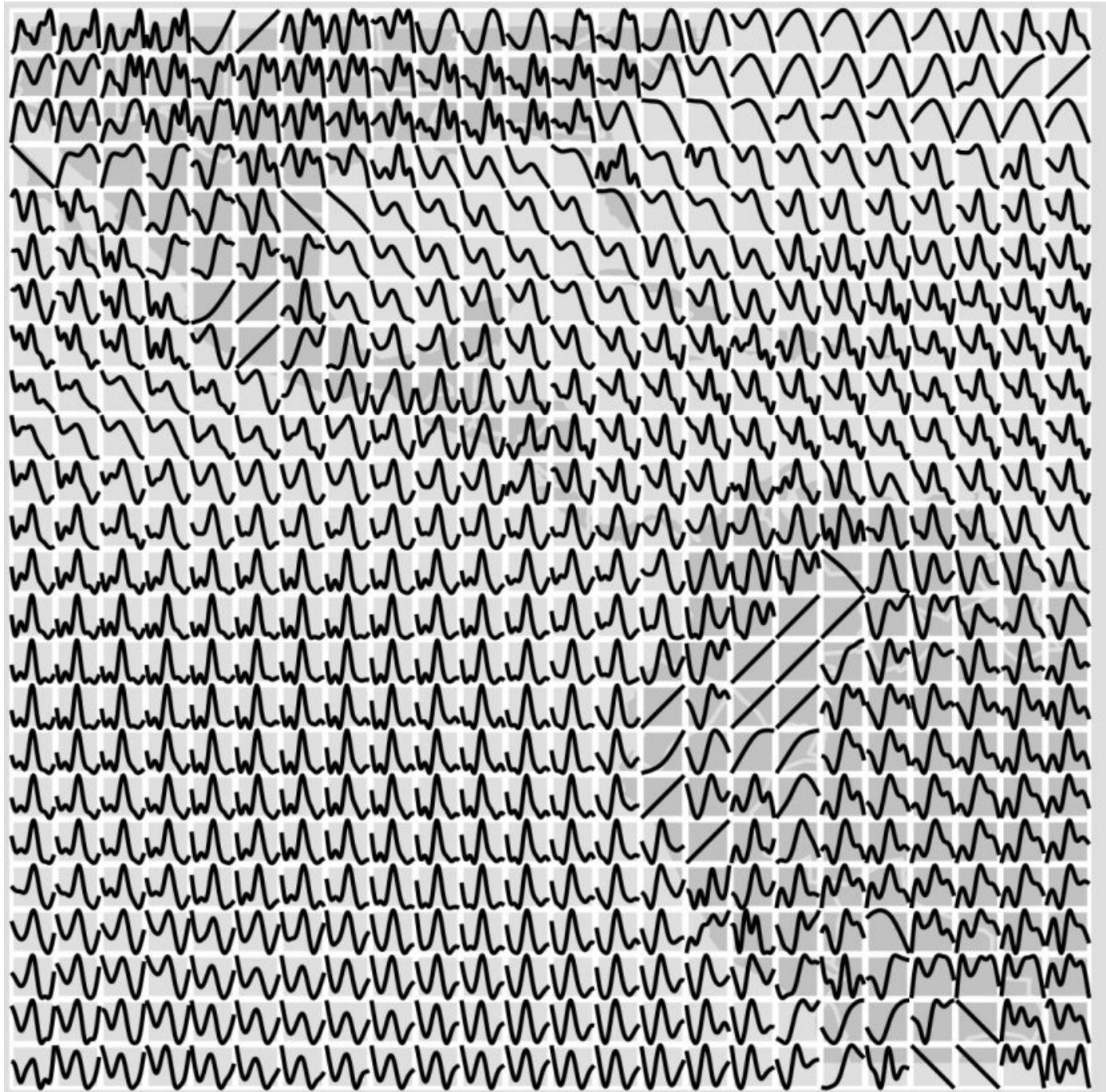


# "Drilling"



- + Compare regions
- + Look-up regions
- + Details on regions
- Occlusion

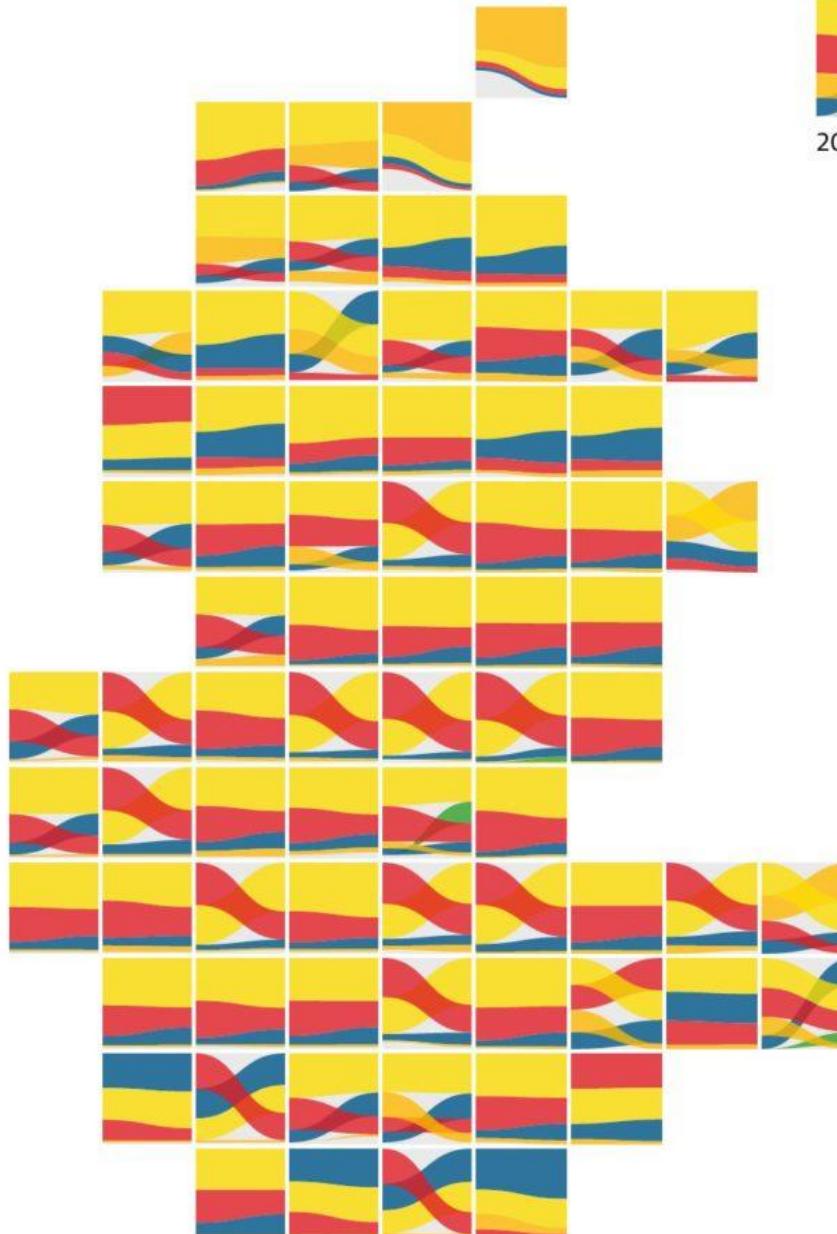
# Drilling: Glyph Maps



<https://vita.had.co.nz/papers/glyph-maps.pdf>

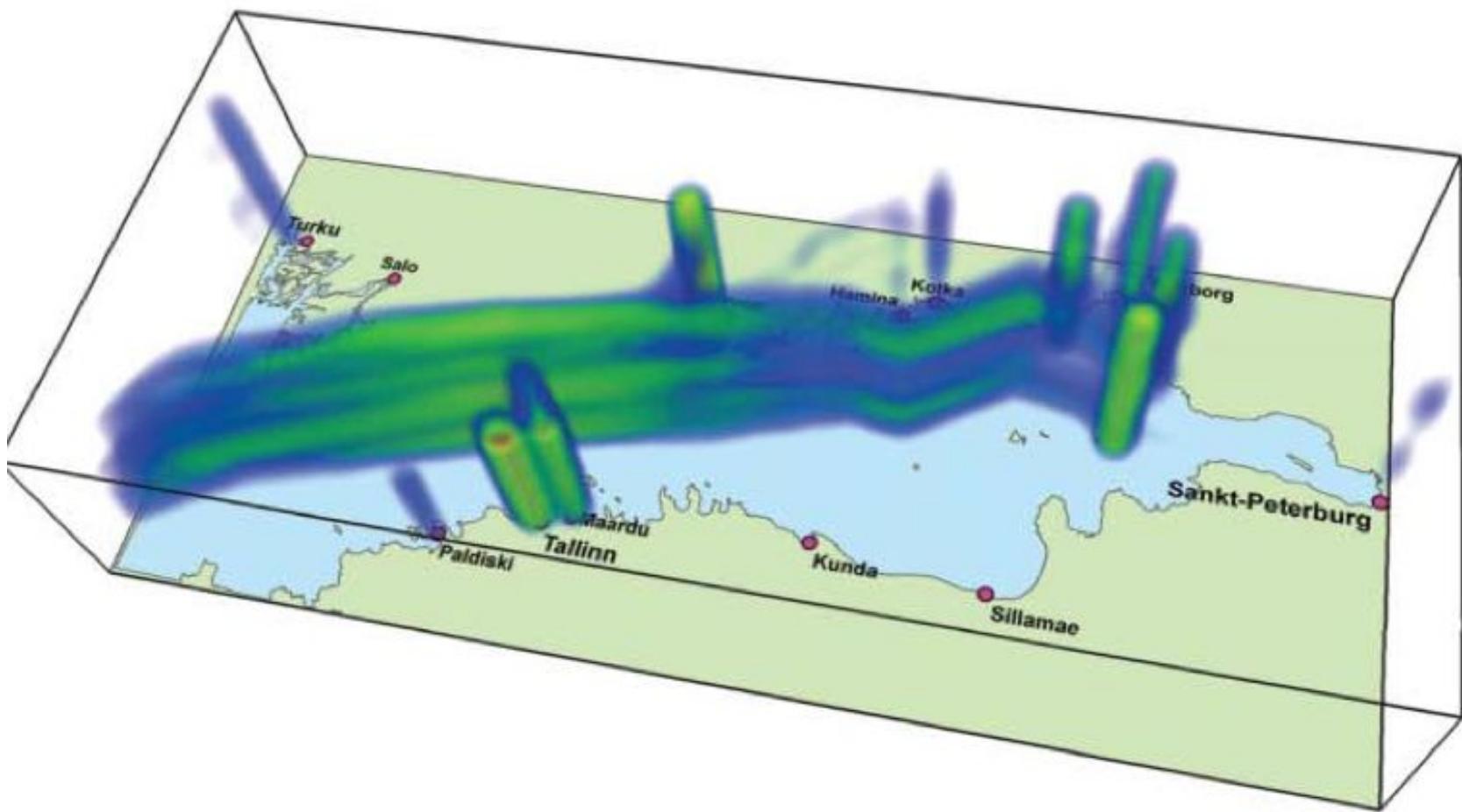
## How Scotland's political geography changed, seat by seat

# Drilling: Geo-flow

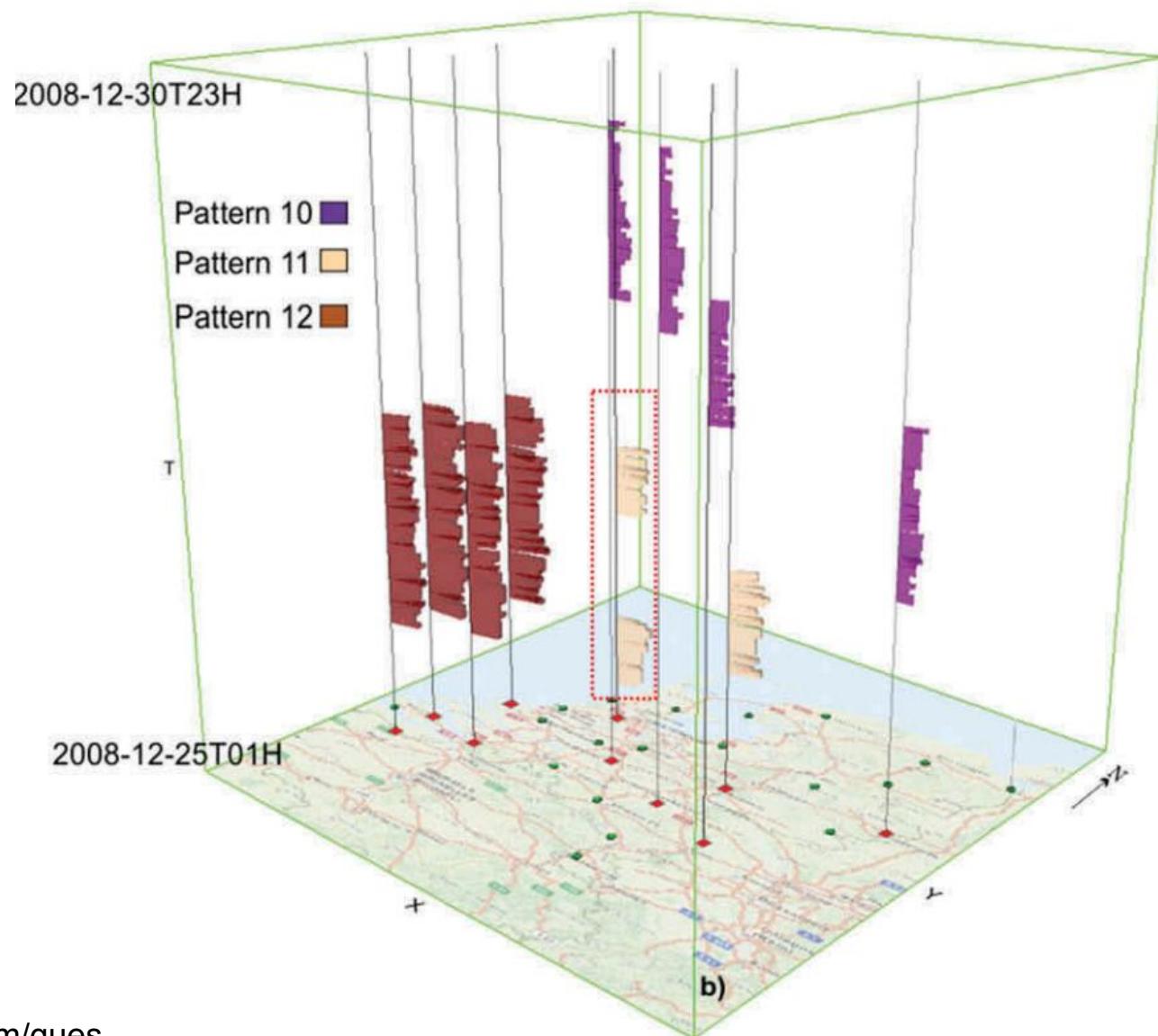


- + Compare regions
- + Look-up regions
- + Details on regions
  
- Compare far away glyphs
- Glyphs can become small

# 3D Renderings: density maps

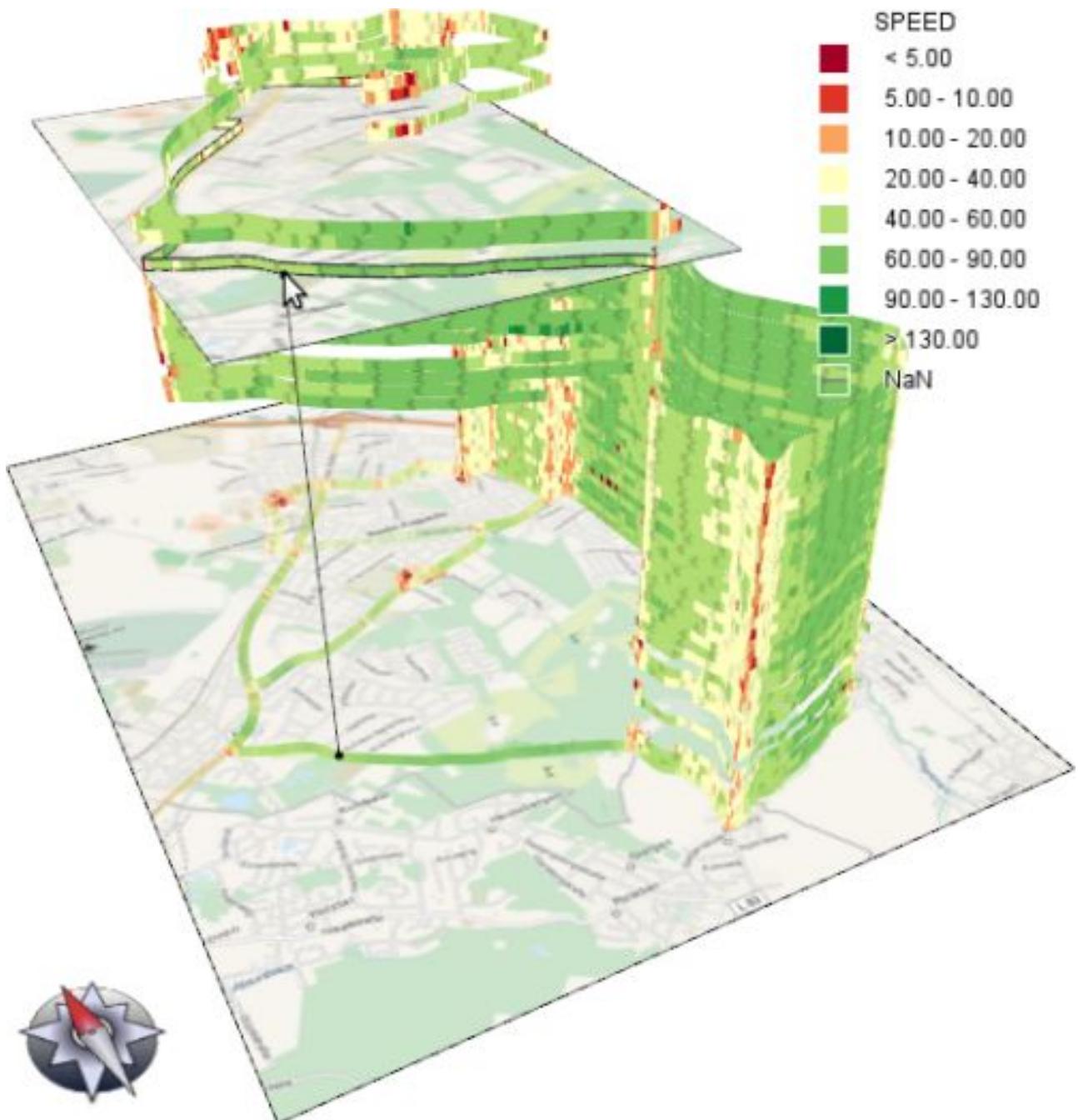


# 3D + drilling



<https://gis.stackexchange.com/questions/202882/create-space-time-cube-in-arcgis-for-desktop>

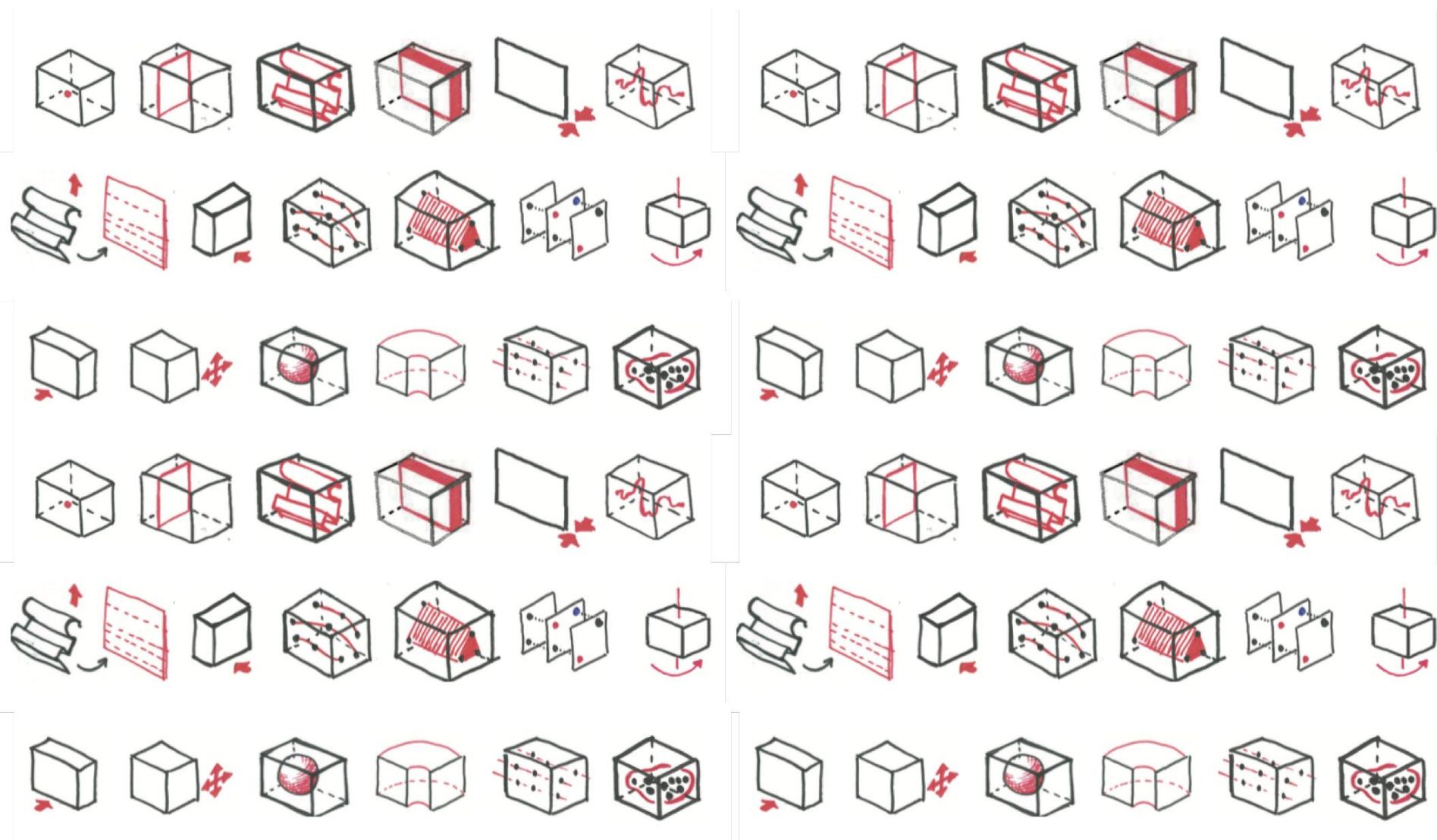
# Trajectory Wall



Andrienko, G., Andrienko, N., Schumann, H., & Tominski, C. (2014). Visualization of trajectory attributes in space–time cube and trajectory wall. In *Cartography from Pole to Pole* (pp. 157-163). Springer, Berlin, Heidelberg.



# More operations



# Khronos Proector



<https://www.youtube.com/watch?v=dZN2ICTRWBU>

# Further Reading

- Alberto Cairo: **The Truthful Art: Chapter 8: Revealing Change**
- Aigner, Wolfgang, et al. **Visualization of time-oriented data.** Springer Science & Business Media, 2011.
- Bach, Benjamin, et al. "**A descriptive framework for temporal data visualizations based on generalized space-time cubes.**" *Computer Graphics Forum.* Vol. 36. No. 6. 2017.
- Rosenberg, Daniel, and Anthony Grafton. **Cartographies of time: A history of the timeline.** Princeton Architectural Press, 2013.

