

Transition numérique et visualisation :

Donner à voir le non visible

Jean-Baptiste Lamy

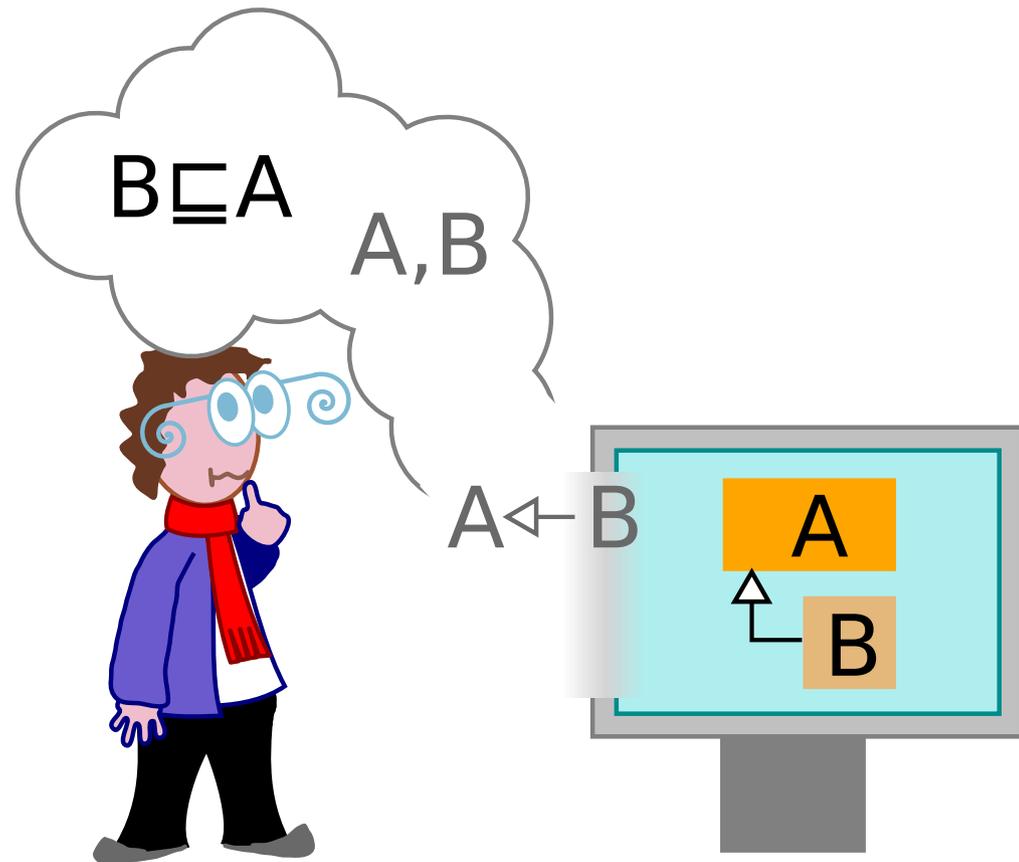
Maître de conférence en informatique, HDR
Université Paris 13

[jibalamy @ free.fr](mailto:jibalamy@free.fr)



Introduction

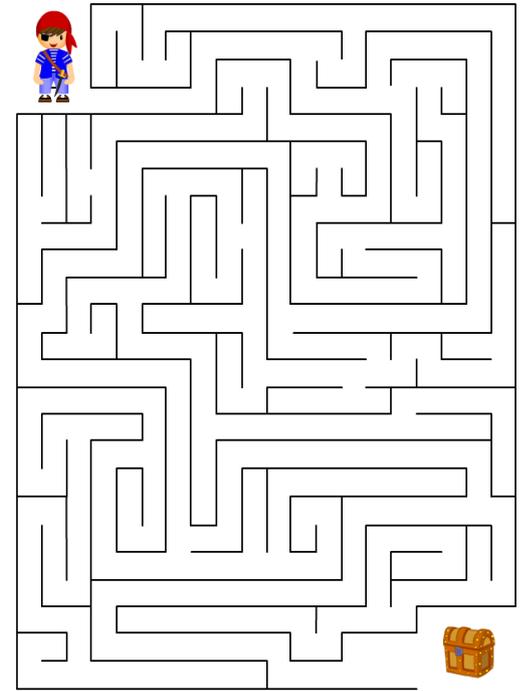
- **Visualisation : utilisation de représentations visuelles pour renforcer la cognition humaine**
 - ◆ Cognition distribuée [*Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization, Liu et al., 2008*]



Vue d'ensemble !!!



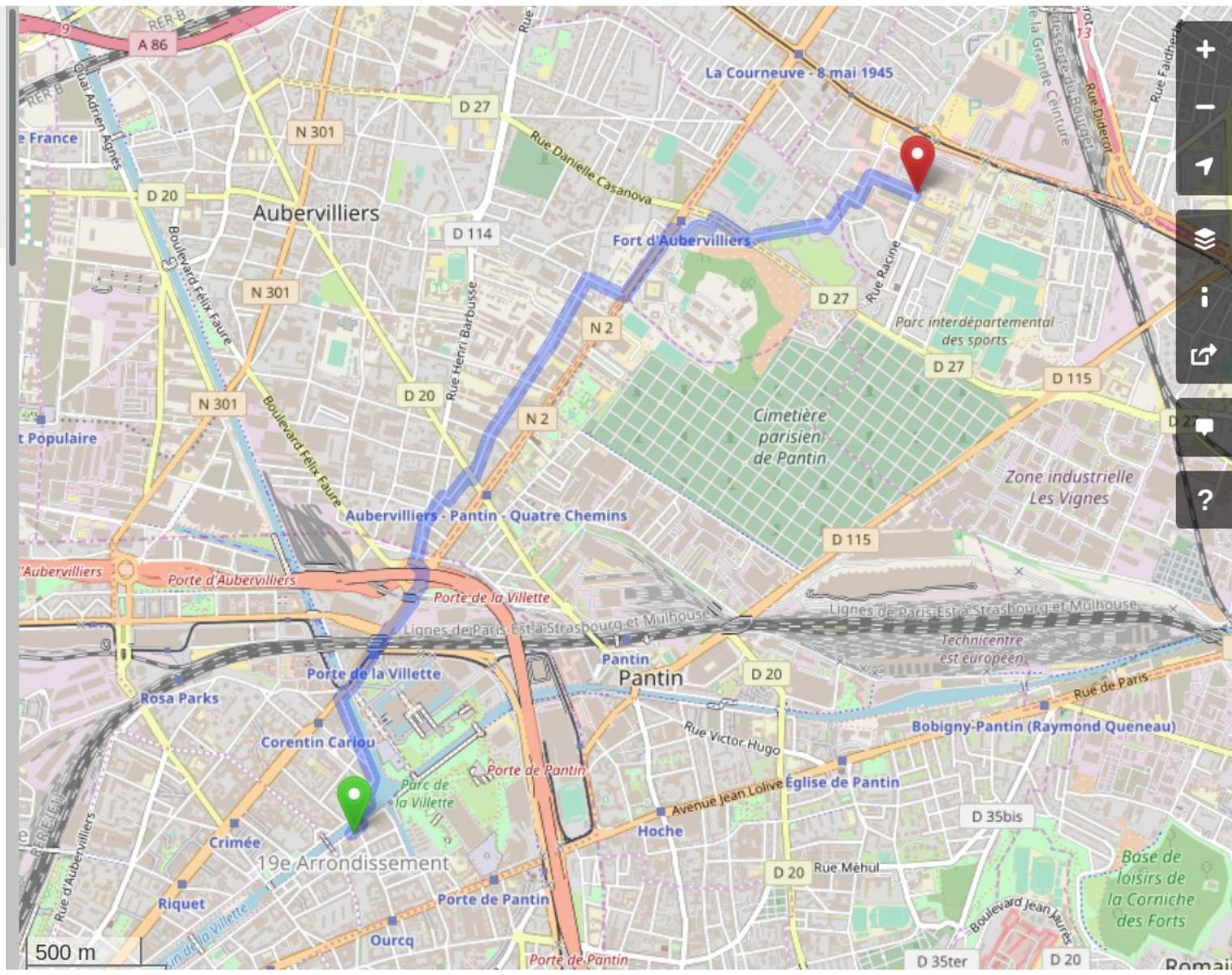
Trace le chemin que Tipirate devra suivre pour retrouver le trésor



36, Quai de la Marne, Quartier de la Villette
Avenue de la Convention, ZAC Vache à l'Ai
À pied (GraphHopper)
Aller

Itinéraire
Distance: 4.8km. Temps: 0:58.
Croissant: 23m. Décroissant: 39m.

- ↑ 1. Continuez sur Quai de la Marne 50m
- ↶ 2. Tournez légèrement à gauche 10m
- ↷ 3. Tournez légèrement à droite sur Quai de la Marne 10m
- ↶ 4. Tournez à gauche
- ↶ 5. Tournez à gauche 70m
- ↶ 6. Tournez fort à gauche 10m
- ↶ 7. Tournez à gauche 10m
- ↷ 8. Tournez à droite sur Quai de l'Oise 500m



Présentation textuelle

Présentation visuelle

Lecture plus rapide
Apprentissage et mémorisation
Modification du trajet possible

Introduction

➤ Donner à voir le « non visible »

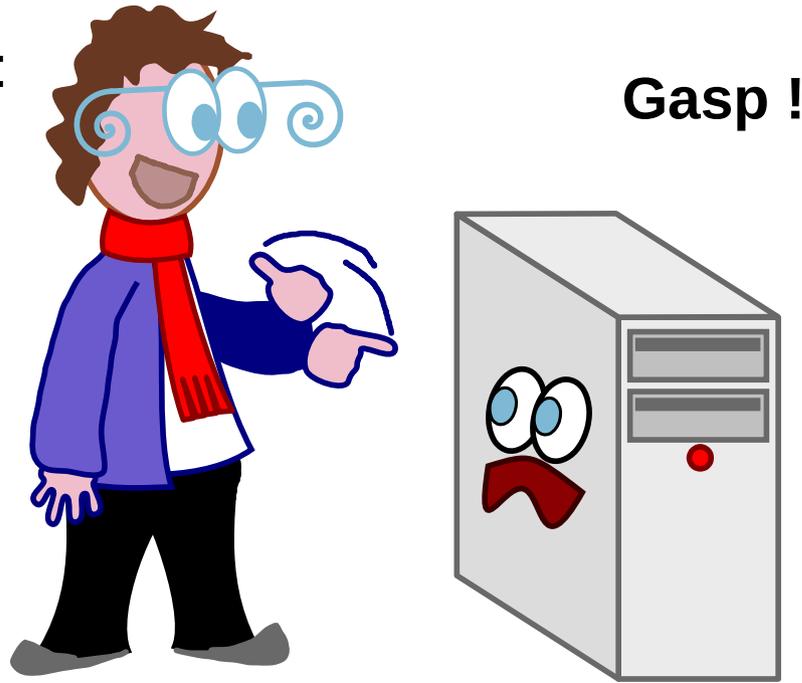
- ◆ rendre visuel ce qui ne l'était pas

 - Concepts abstraits

- ◆ rendre comparable ce qui ne l'était pas

Introduction

Répartissons-nous les rôles :
à toi la complexité,
à moi la simplicité !

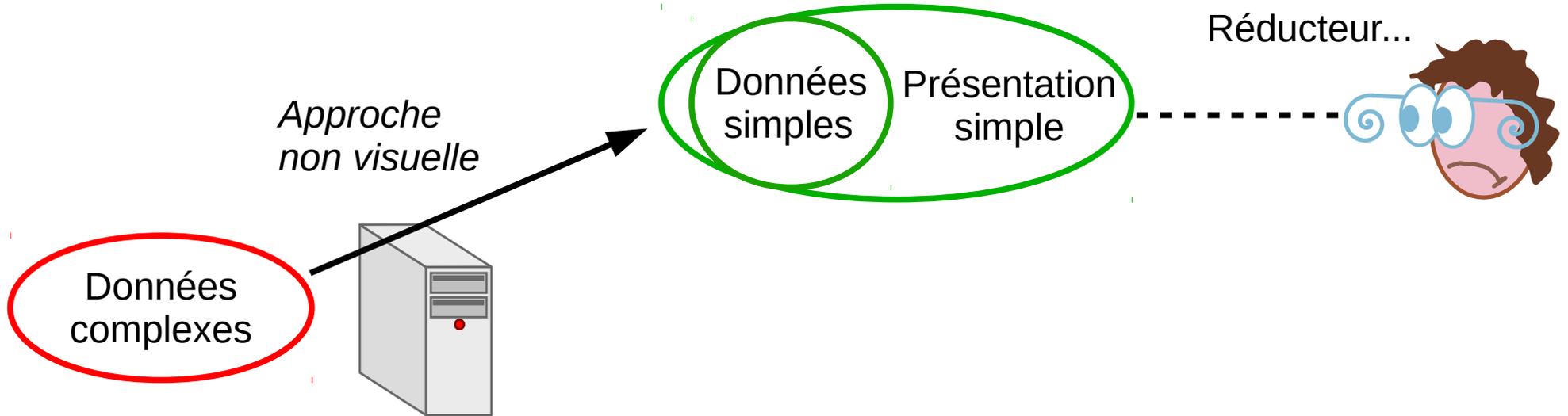


➤ **Le numérique permet de produire des visualisations qui étaient encore impossibles il y a encore 5 ou 10 ans**

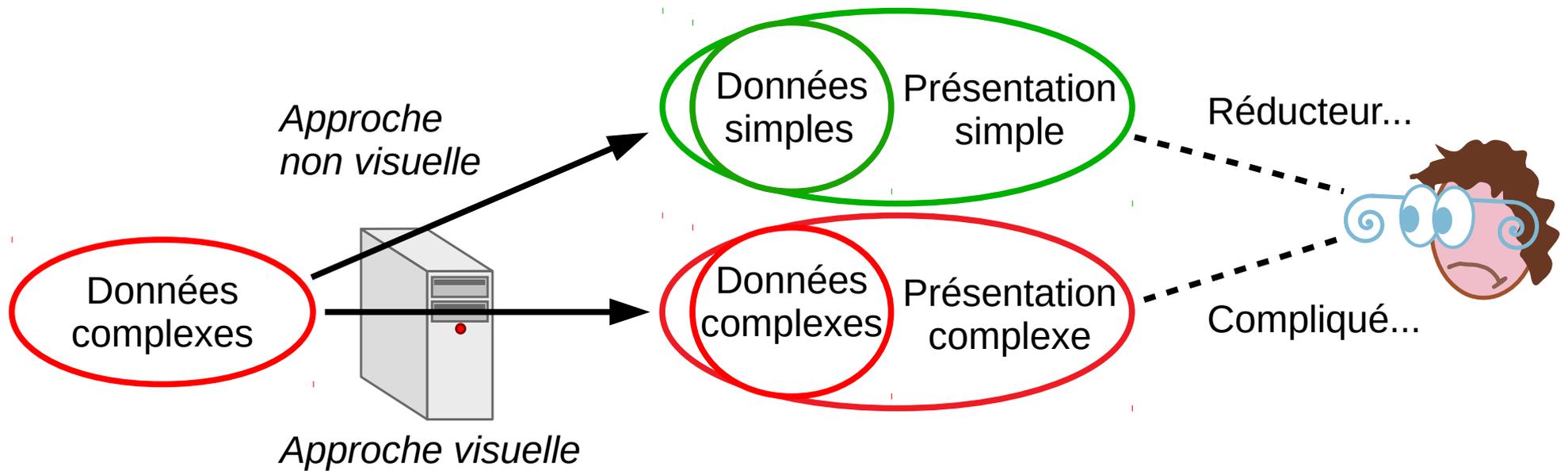
◆ Visualisation d'information et de connaissances

- Visualiser des données, informations ou connaissances abstraites
- Susciter un modèle mental chez l'utilisateur humain
 - Faciliter l'apprentissage, la mémorisation, la découverte
 - Sans perdre la complexité des données initiales !

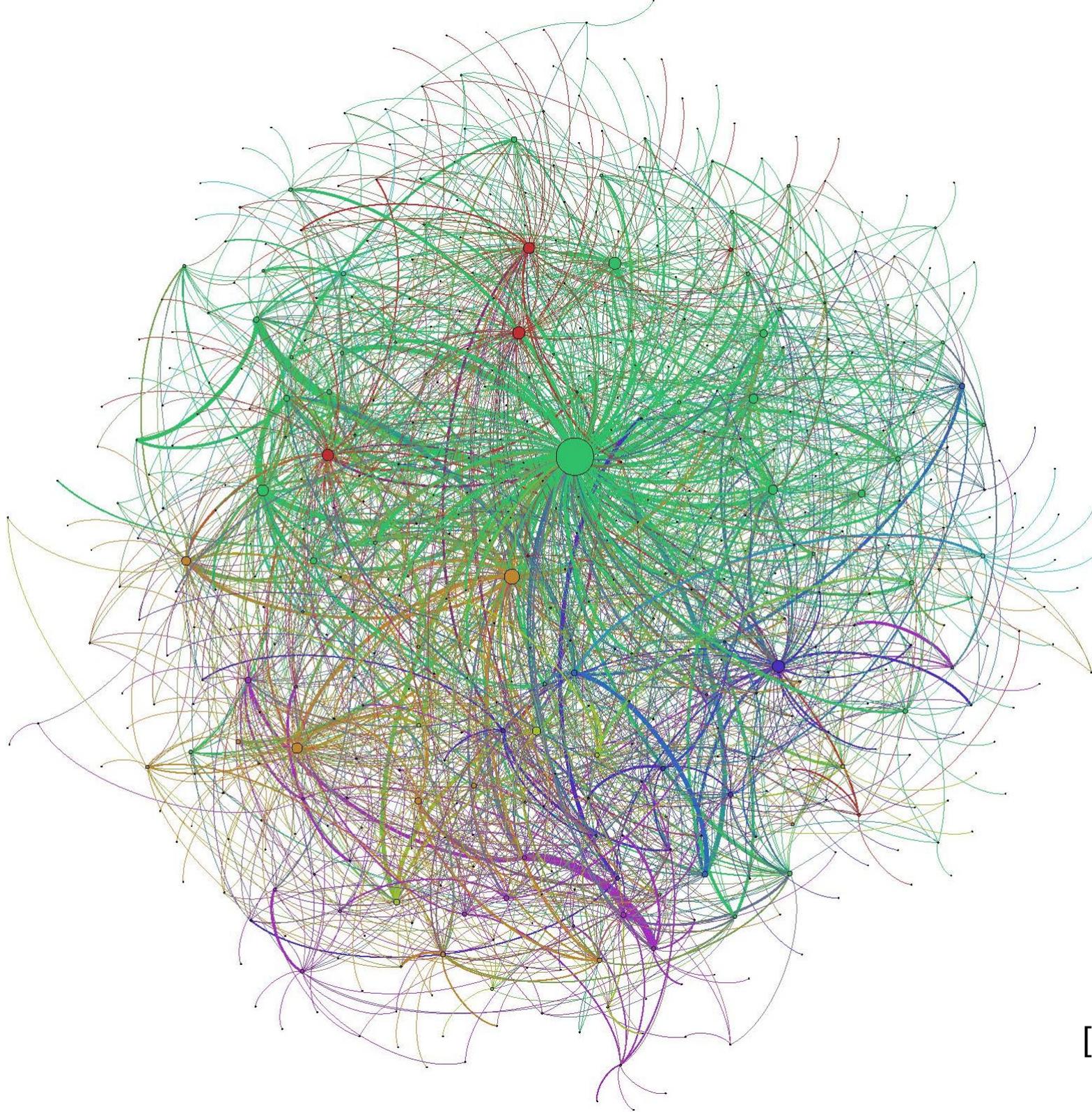
Introduction



Introduction

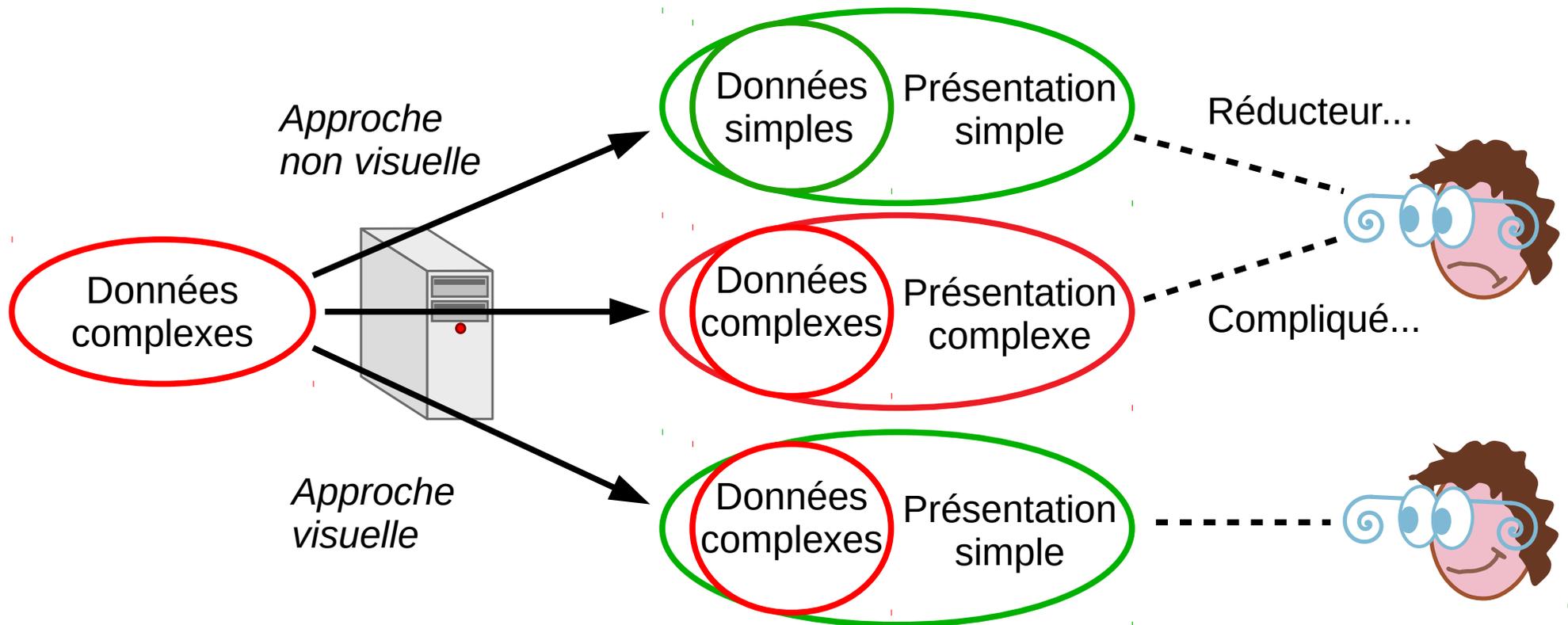


Interactions
dans un club
de cyclisme féminin



[J.E. Molly Seeger]

Introduction



Introduction

➤ Donner à voir le « non visible »

◆ rendre visuel ce qui ne l'était pas

- Les propriétés de composés biologiques ?
- Les caractéristiques d'un ou plusieurs patients ?
- Les relations entre les personnages dans un roman ?

◆ rendre comparable ce qui ne l'était pas

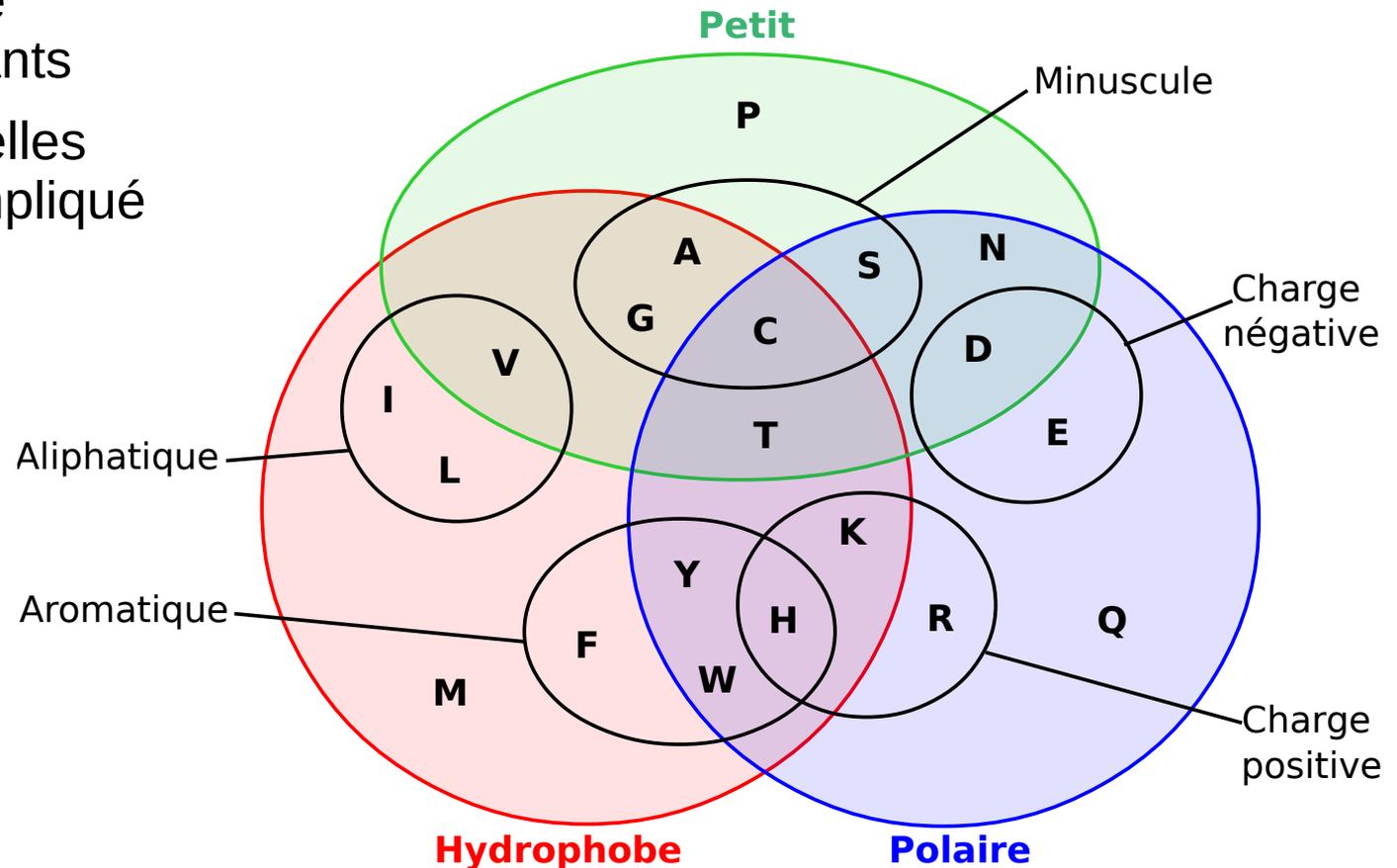
- Les propriétés des médicaments ?

Visualisation d'ensembles

➤ Diagramme de Venn / d'Euler

◆ Exemple en bioinformatique :
les propriétés des acides aminés

- Lecture difficile pour les étudiants
- Ajout de nouvelles propriétés compliqué



Visualisation d'ensembles

➤ Graphe

- ◆ Illisible !
- ◆ Les graphes sont souvent utilisés « à défaut »

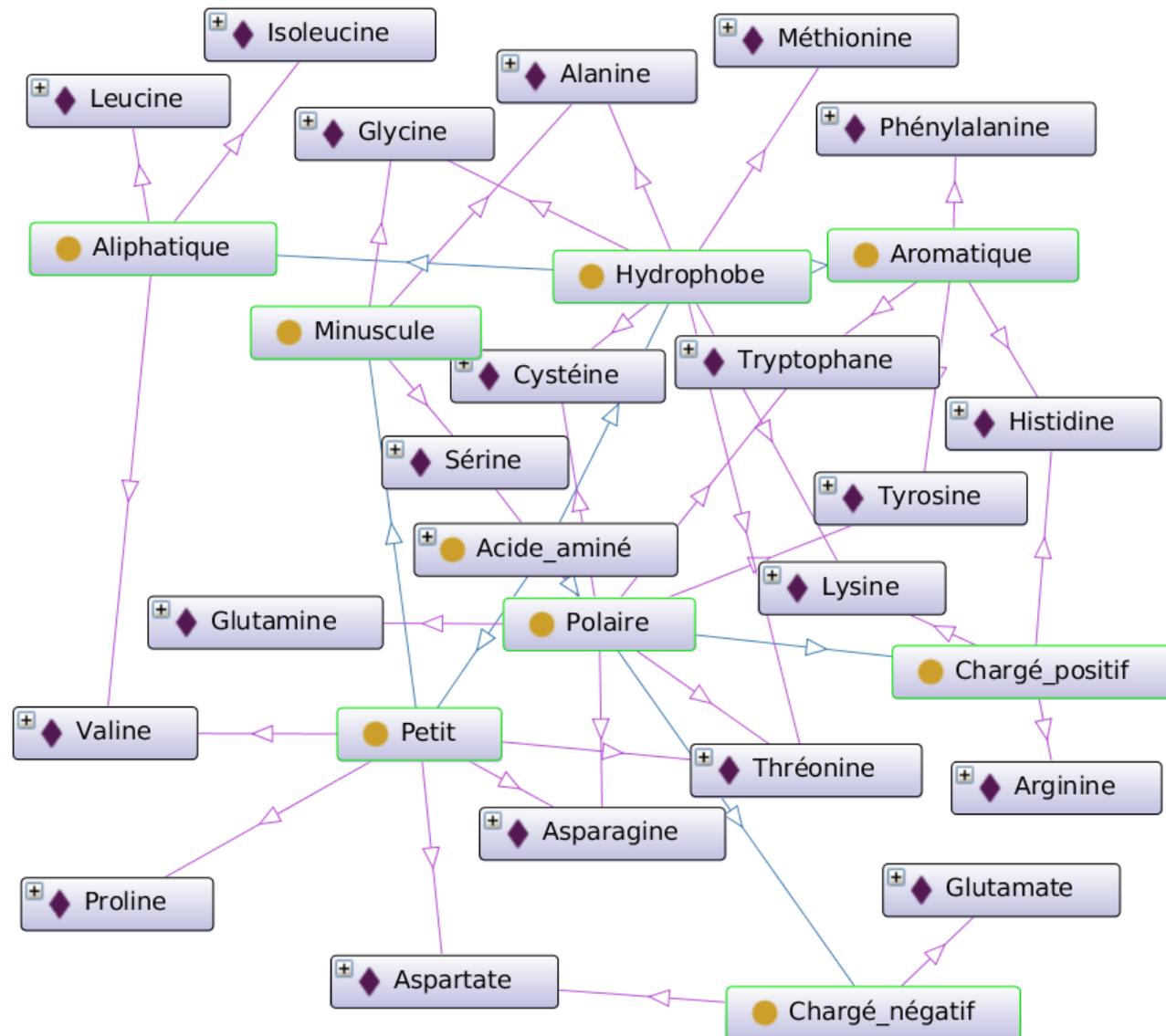


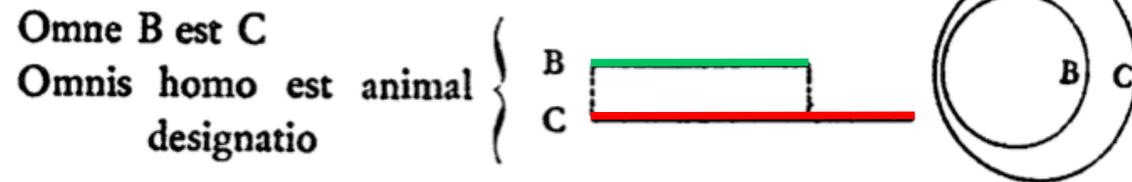
Diagramme linéaire de Leibniz

➤ Leibniz
(1646-1716)

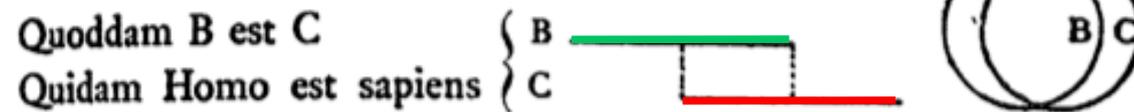
Propositio universalis negativa.



Propositio universalis affirmativa :



Propositio particularis affirmativa.



Propositio particularis negativa.



Diagramme linéaire de Leibniz

Leibniz (1646-1716)

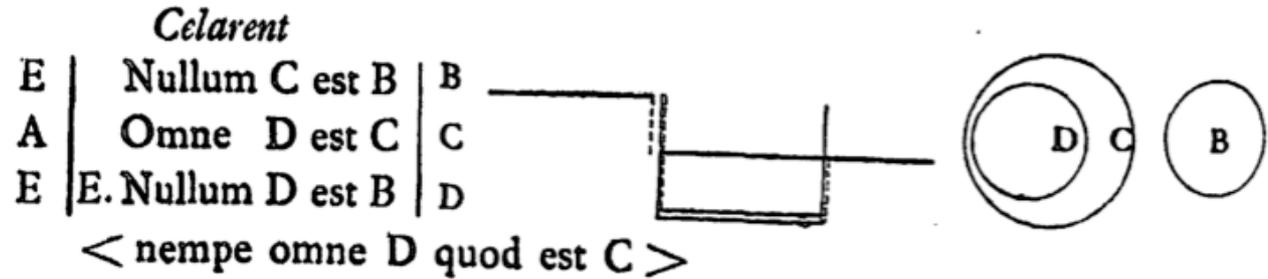


FIGURA I.

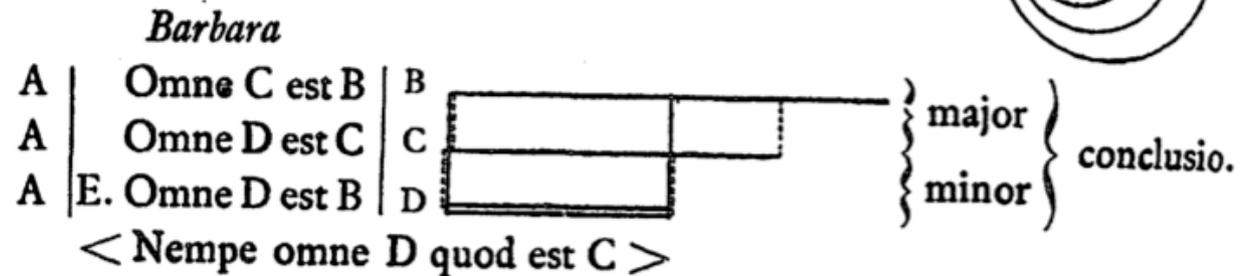
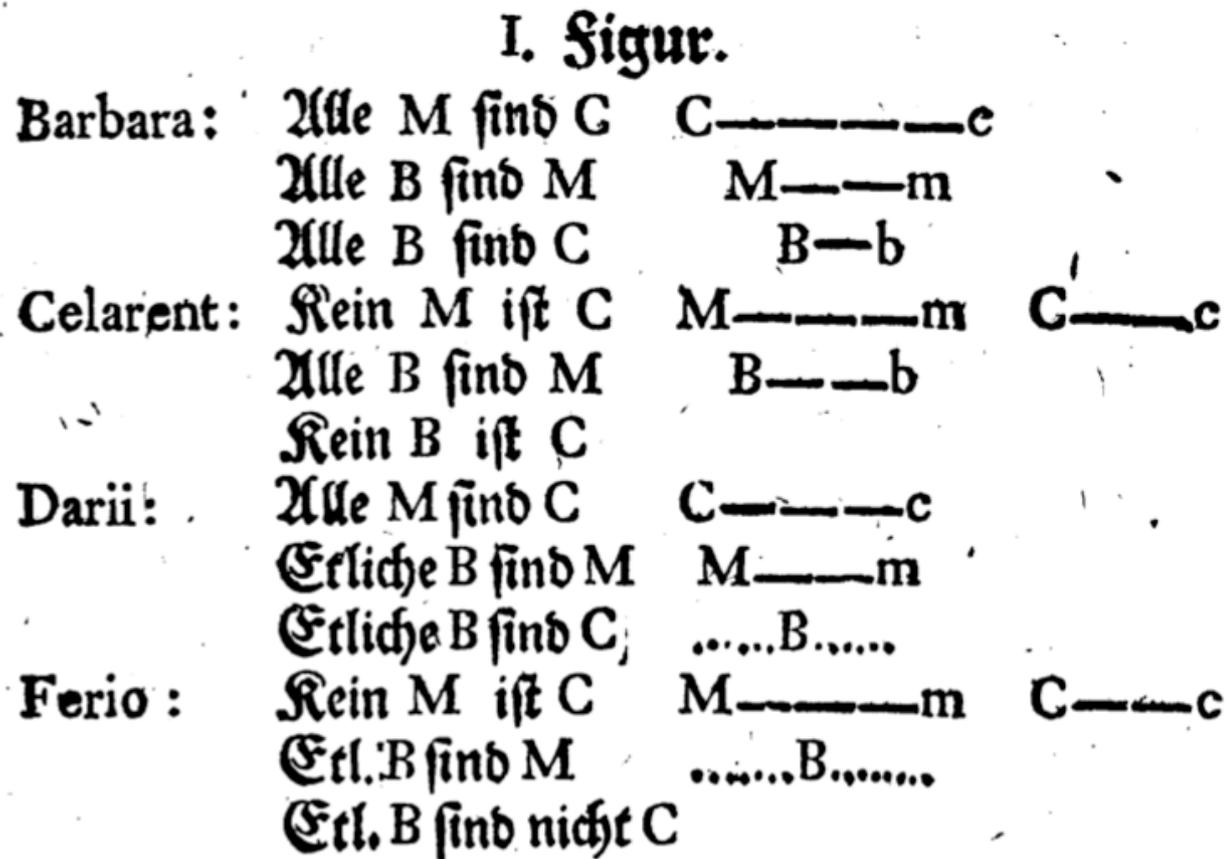


Diagramme linéaire de Leibniz

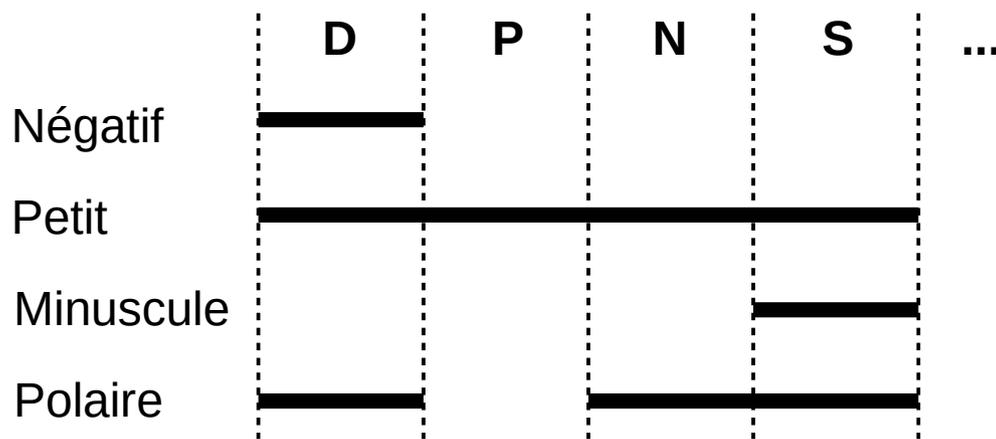
➤ Johann H. Lambert (1728-1777)



[Diagrammatic autarchy: linear diagrams in the 17th and 18th centuries, F Bellucci et al., 2014]

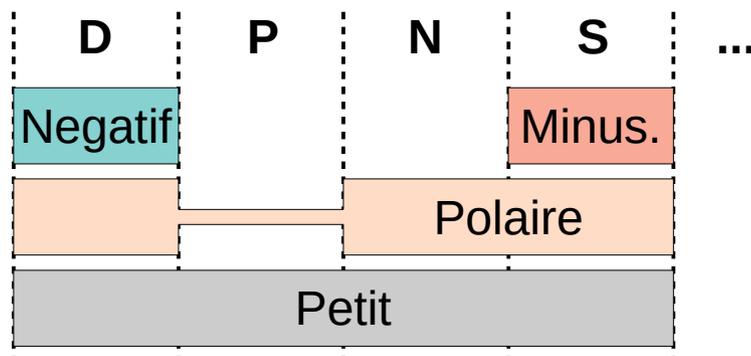
Les boîtes arc-en-ciel

➤ Et si l'on s'inspirait du diagramme linéaire pour présenter les propriétés des acides aminés ?



Problème : dans quel ordre placer les acides aminés ?

➤ Les boîtes arc-en-ciel : une variante/amélioration du diagramme linéaire

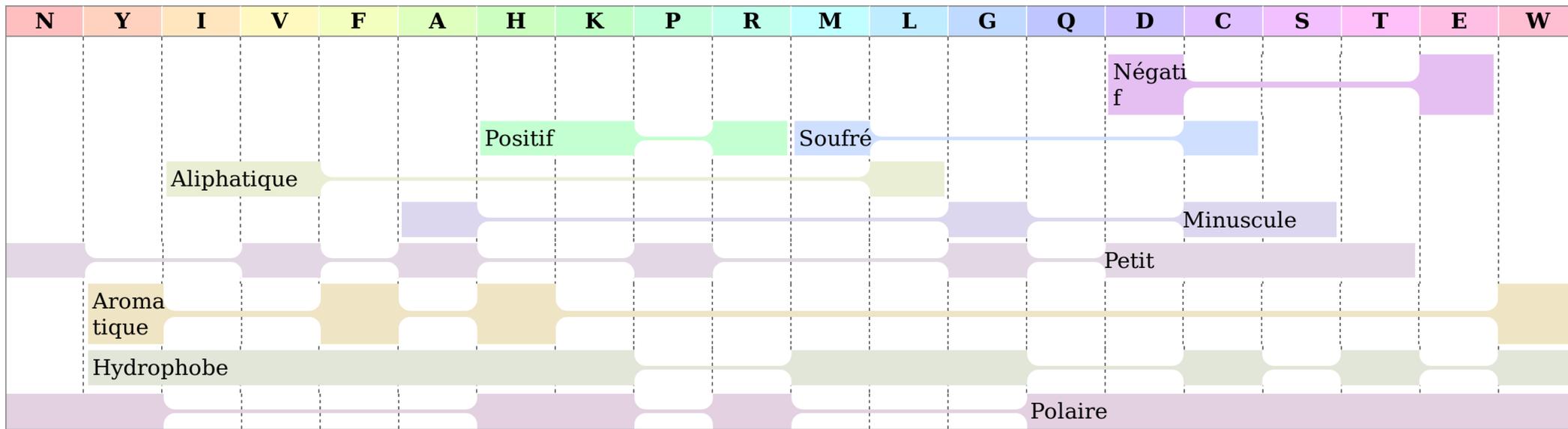


Plus compact
Un seul objet visuel par ensemble

Problème : dans quel ordre placer les acides aminés ?

Ordre des colonnes

➤ Ordre aléatoire ?



➤ Combien y a-t-il d'ordres possibles ?

- ◆ Si l'on ajoute les colonnes une à une, il y a i possibilités pour placer la $i^{\text{ème}}$ colonne.
- ◆ => en tout il y a $n!$ (factoriel $n = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \dots \times n$) ordres possibles, où n est le nombre de colonnes
- ◆ Ici, $20! = 2432902008176640000 = 2,4 \times 10^{18}$
 - => On ne pourra pas les tester tous et garder le meilleur !

Complexité (informatique)

➤ Complexité (au sens informatique)

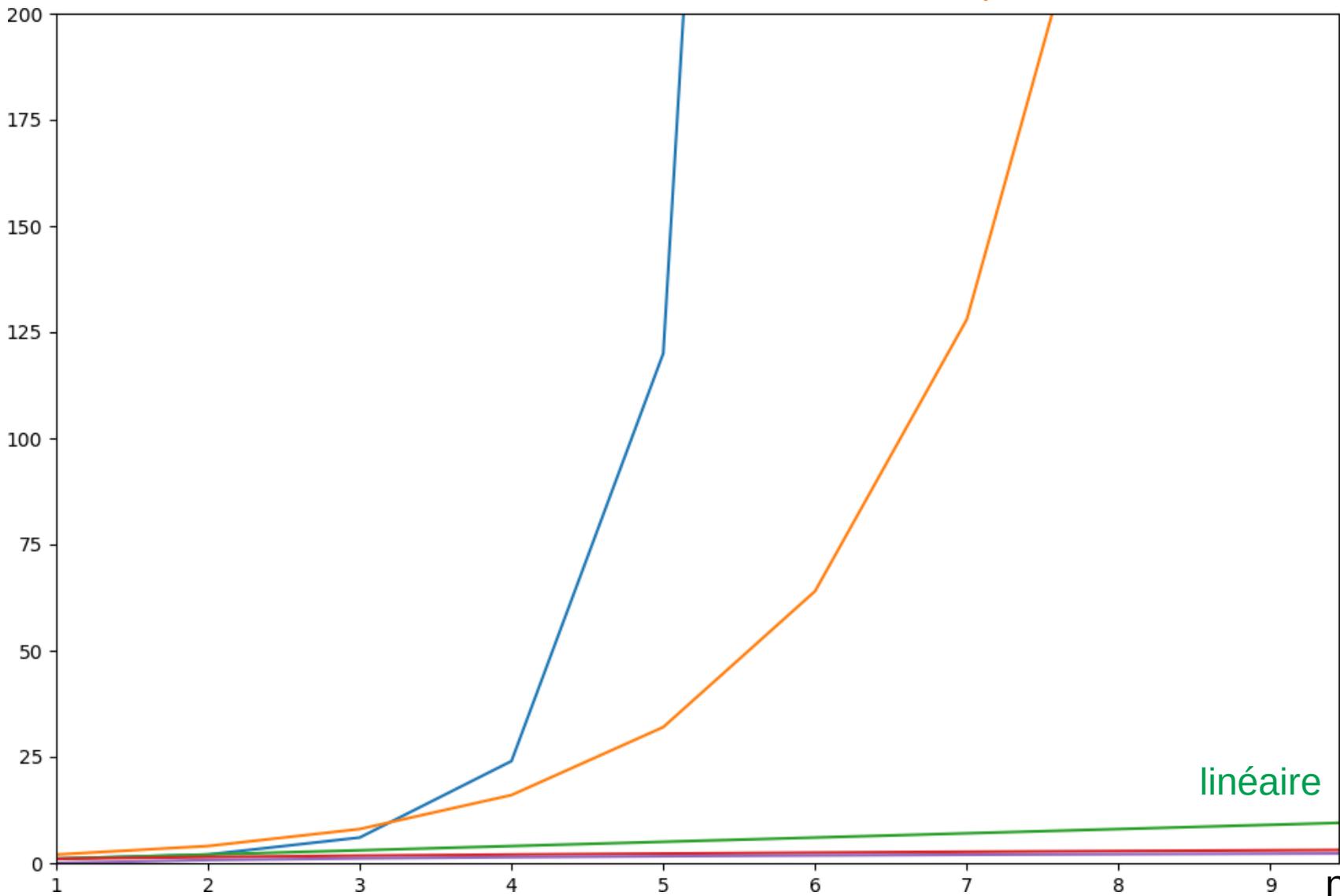
- ◆ Quantifie les ressources (temps, espace mémoire,...) nécessaire à un algorithme
 - En fonction des paramètres (exemple le nombre de colonnes)
 - Notée $O(\dots)$
- ◆ Donne un ordre de grandeur de la manière dont un problème se complexifie lorsque la taille des données augmente
- ◆ Ici, la complexité est factorielle : $O(n!)$
- ◆ D'autres problèmes ont des complexités :
 - Linéaires : $O(n)$
 - Exponentielles : $O(2^n)$, $O(3^n)$,...
 - Logarithmiques : $O(\log(n))$
 - ...

Complexité

Nombre de solutions possibles

factorielle

exponentielle



$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \dots$

$2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \dots$

$1 + 1 + 1 + 1 + 1 \dots$

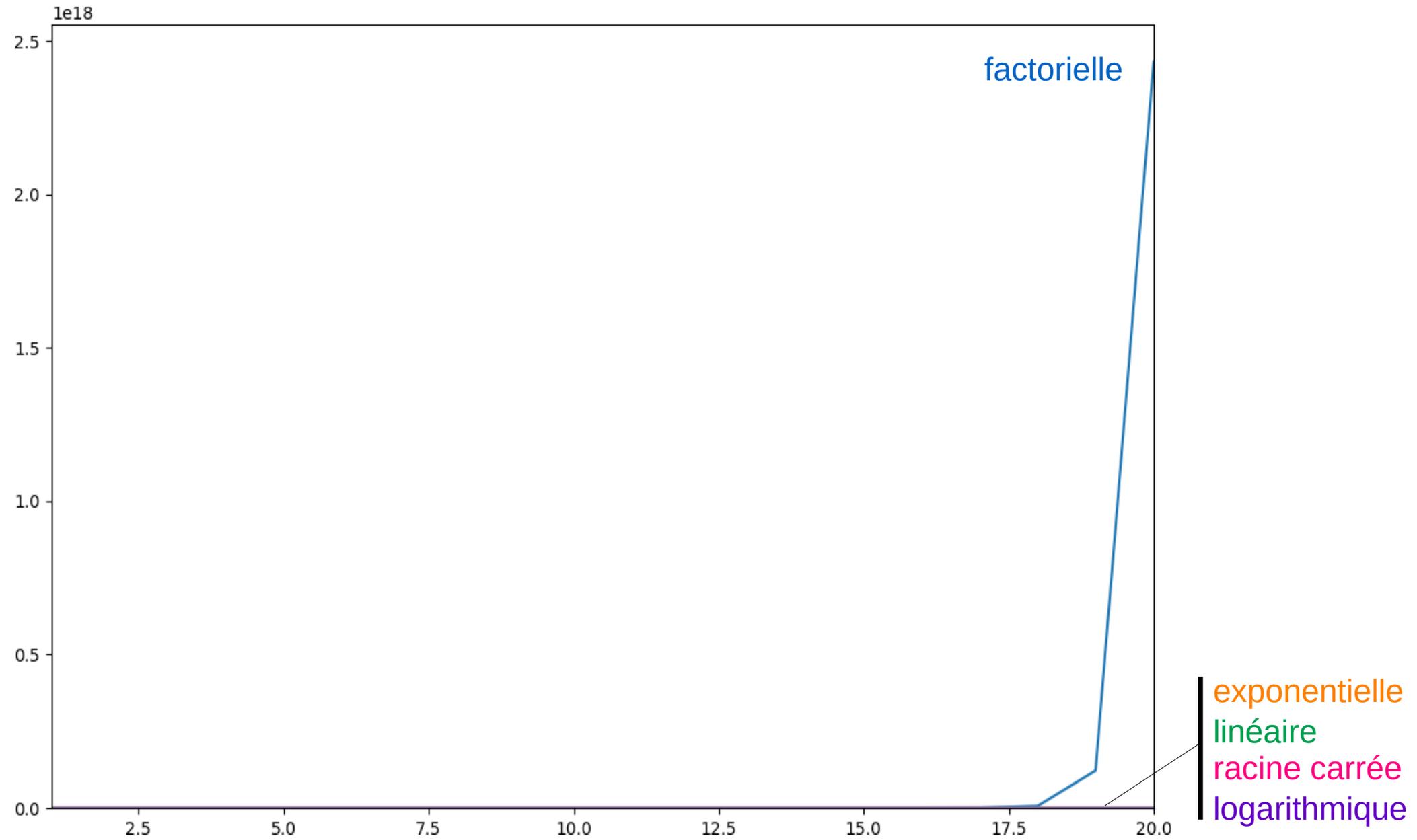
linéaire

racine carrée

logarithmique

Complexité

Nombre de solutions possibles



Algorithmes

➤ Plusieurs approches pour optimiser l'ordre des colonnes :

◆ Force brute : jusqu'à $n = 10$ colonnes

- Teste tous les ordres possibles

◆ Algorithme heuristique : jusqu'à $n = 20 - 25$ colonnes

- Teste un sous-ensemble des ordres possibles
- Ne garantit pas de trouver le meilleur ordre possible

◆ Métaheuristique : jusqu'à $n = 50 - 100$ colonnes

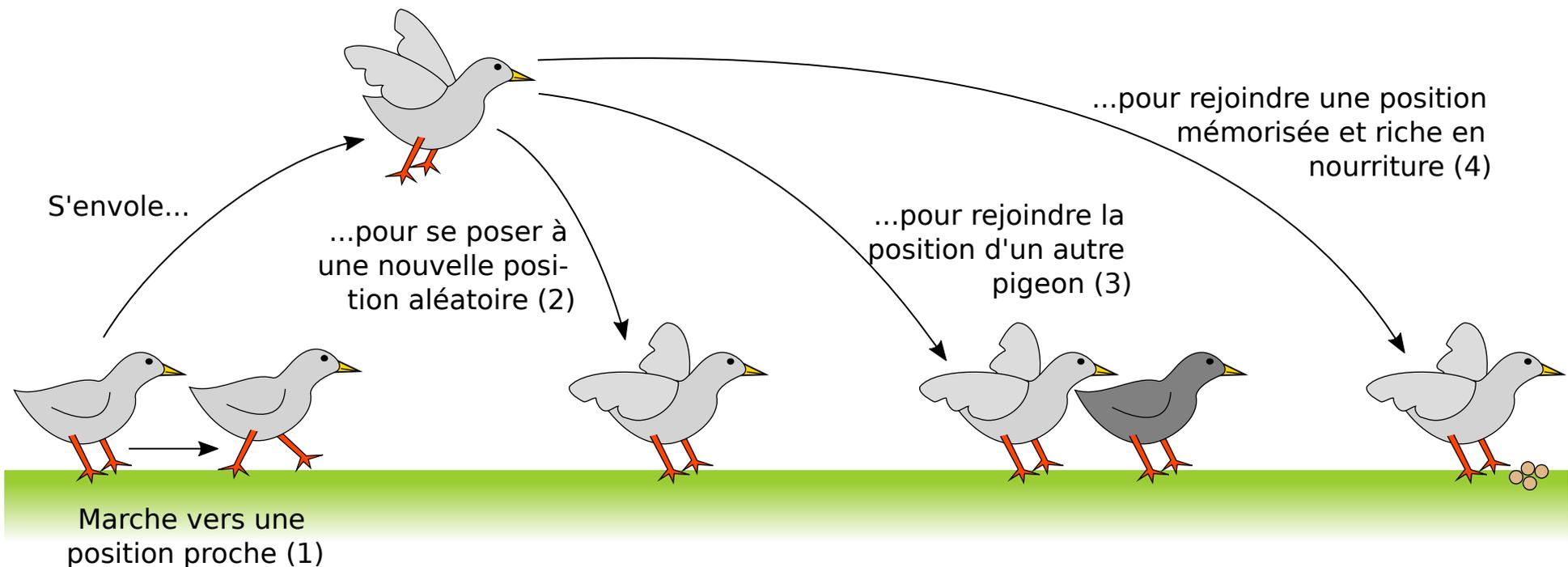
- Algorithmes génériques capables de « guider » une recherche heuristique
- Teste des ordres de manière semi-aléatoire
- Souvent inspirées du comportement des animaux
 - Fourmis, abeilles, lucioles,...
- Ne garantit pas de trouver le meilleur ordre possible
- Permet de s'arrêter quand on veut
 - Plus le nombre de cycles est grand, meilleur sera le résultat

Métaheuristique AFB

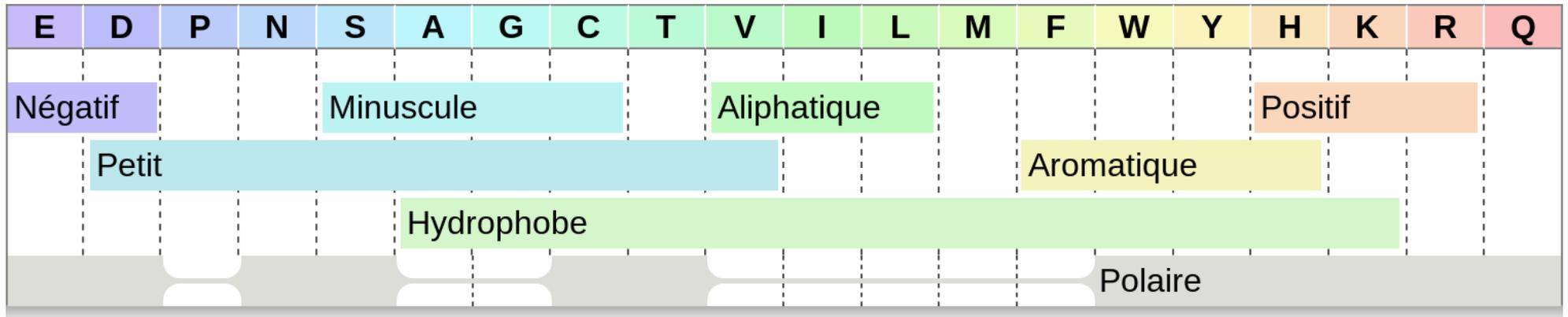
Metaheuristique des Oiseaux Picorant Artificiels (*Artificial Feeding Birds, AFB*)

[*Les oiseaux picorant artificiels : une nouvelle méta-heuristique inspirée du comportement des pigeons*, Lamy JB, 2017]

- ◆ Inspirée du comportement des pigeons
- ◆ Résout n'importe quel problème d'optimisation défini par 3 fonctions :
 - $vol()$, $marche()$, $coût()$

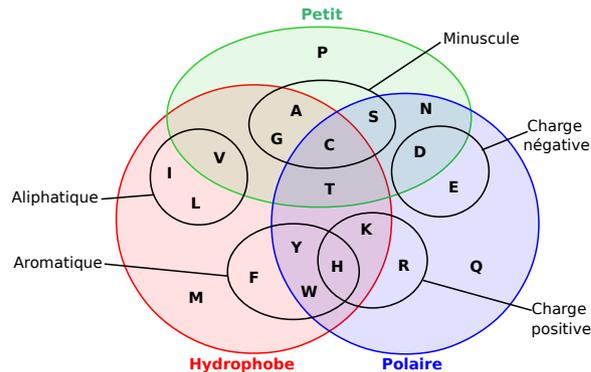


Résultats

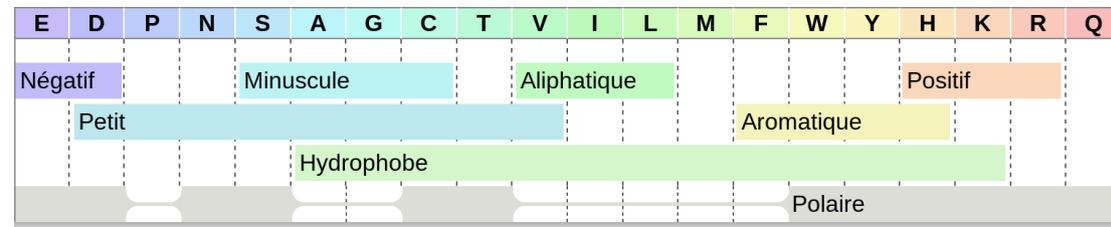


[Rainbow boxes: a new technique for overlapping set visualization and two applications in the biomedical domain, Lamy JB et al., 2017]

Evaluation



VS



➤ Protocole en « crossover » inspiré des protocoles des essais cliniques en médecine

- ◆ 78 étudiants en biologie de l'université Paris 13 (L3 et M1)
- ◆ 10 questions

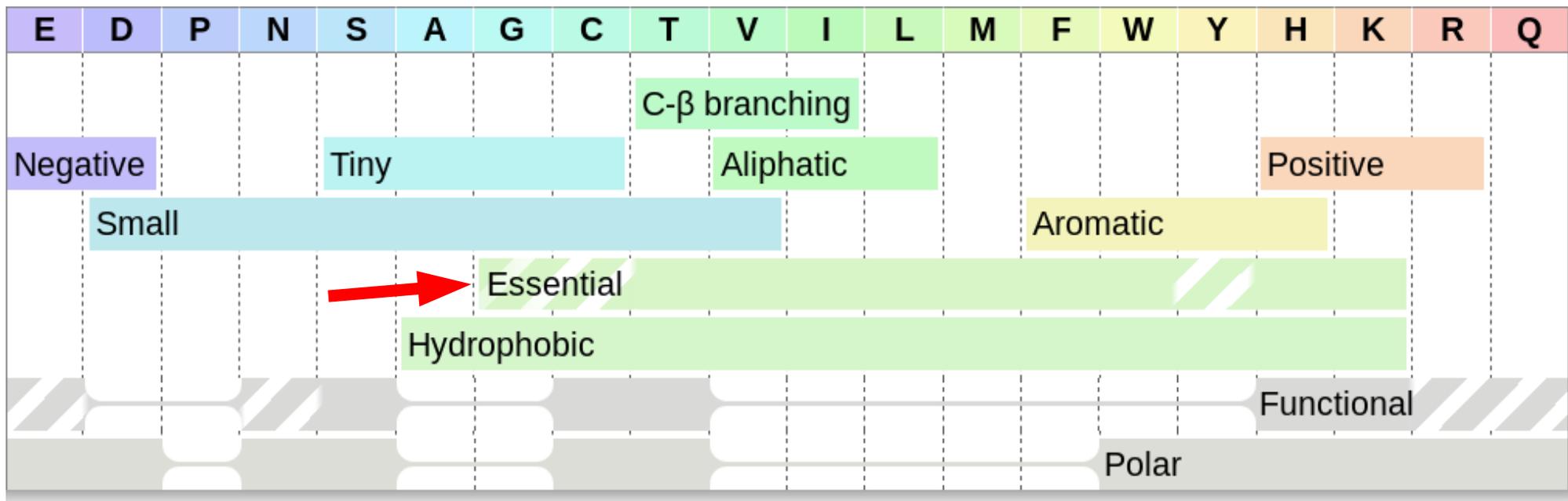
➤ Résultats : les boîtes arc-en-ciel

- ◆ conduisent à deux fois moins d'erreurs ($p=0,013$)
- ◆ permettent de répondre plus rapidement ($p < 10^{-6}$)
- ◆ sont préférées par 2/3 des étudiants

Extension du diagramme

➤ Ajout de nouvelles propriétés

◆ Découverte de similarités !



Tout ça pour 1 diagramme ?

Application à la comparaison de patients

➤ Raisonnement à partir de cas (RAPC) :

- ◆ Exemple en médecine : quel traitement prescrire à un nouveau patient atteint de cancer du sein ?
 - Extraire les patients similaires dans une base de données
 - Regarder les traitements qui leur ont été prescrits
 - En déduire le traitement approprié pour le nouveau patient ←

➤ Projet européen H2020 DESIREE

- ◆ Objectif du projet : combiner plusieurs approches d'aide à la décision pour la prise en charge du cancer du sein
- ◆ Raisonnement à partir de cas **visuel**
 - Visualisation de patients similaires
 - « ouvrir la boîte noire » (rapport Villani)

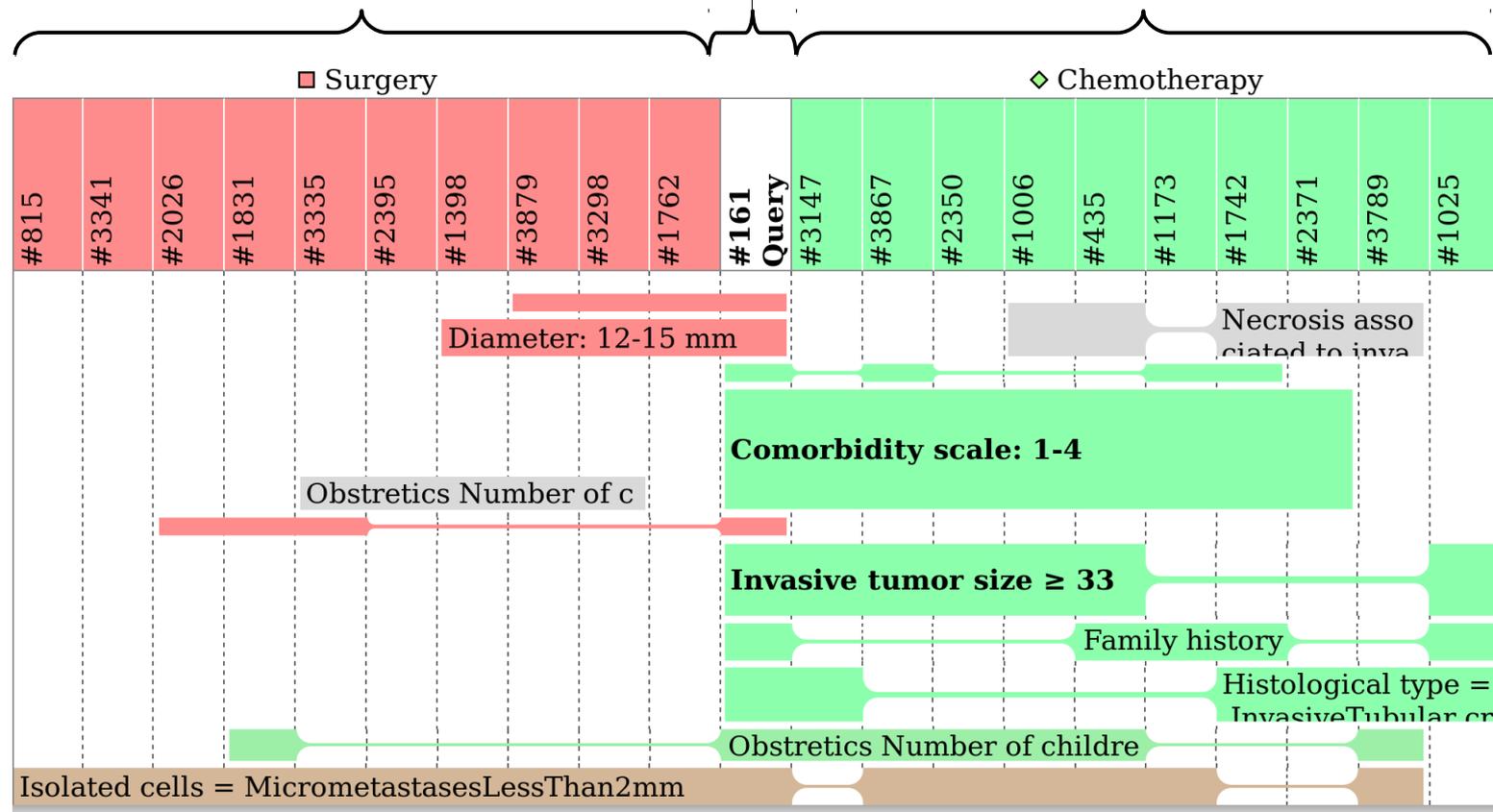


Application à la comparaison de patients

Nouveau patient

Patients similaires traités par chirurgie

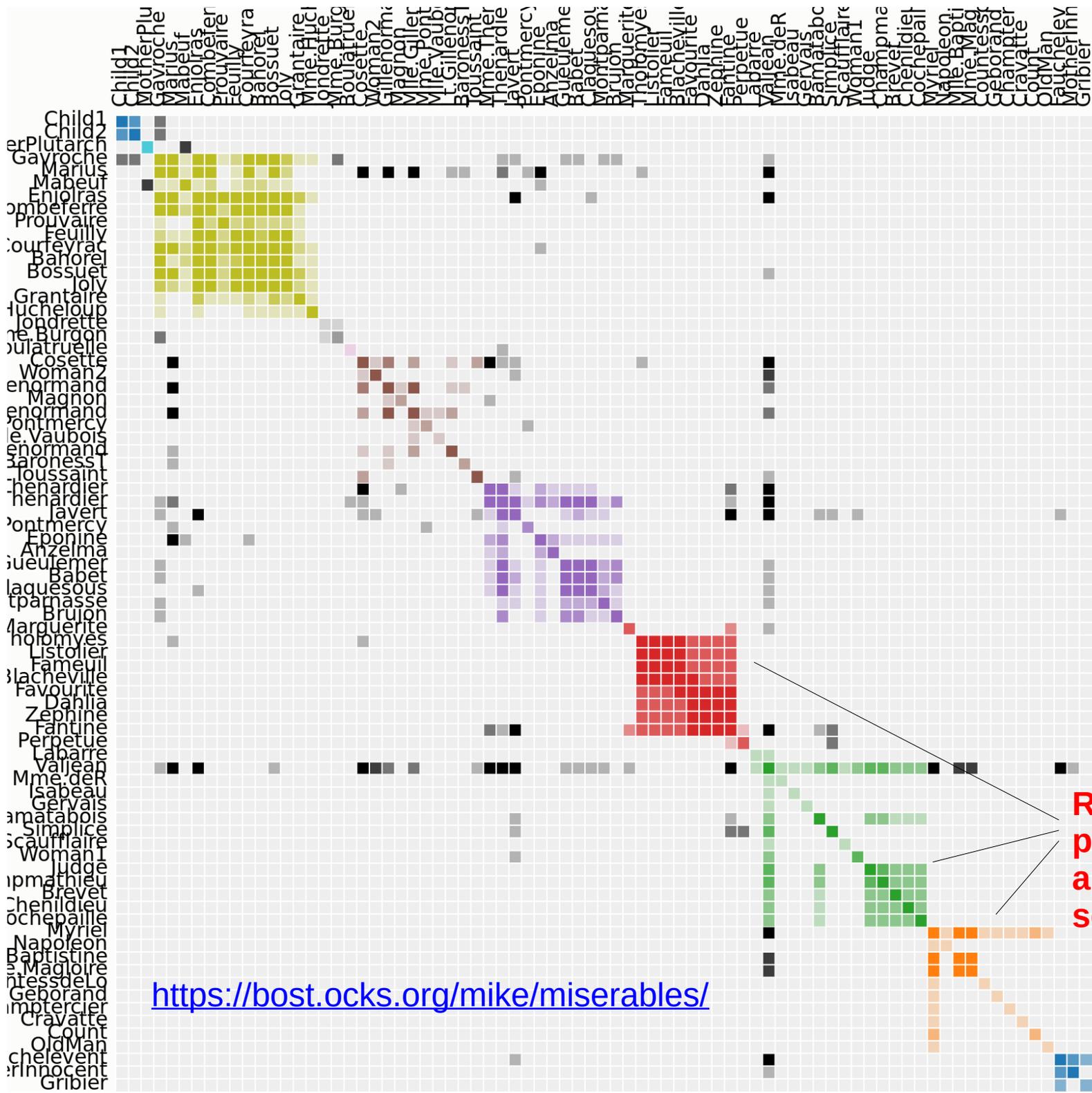
Patients similaires traités par chimiothérapie



Ici, le nouveau patient partage davantage de caractéristiques avec les patients traités par **chimiothérapie** => on recommandera donc la **chimiothérapie**

Toujours plus complexe...

- **Visualisation des relations entre personnages dans un roman :**
 - ◆ Matrice de cooccurrence des 80 personnages dans les Misérables de Victor Hugo
 - ◆ Comment visualiser ces données ?



Order:
 ▾

This matrix diagram visualizes character co-occurrences in Victor Hugo's *Les Misérables*.

Each colored cell represents two characters that appeared in the same chapter; darker cells indicate characters that co-occurred more frequently.

Use the drop-down menu to reorder the matrix and explore the data.

Built with [d3.js](#).

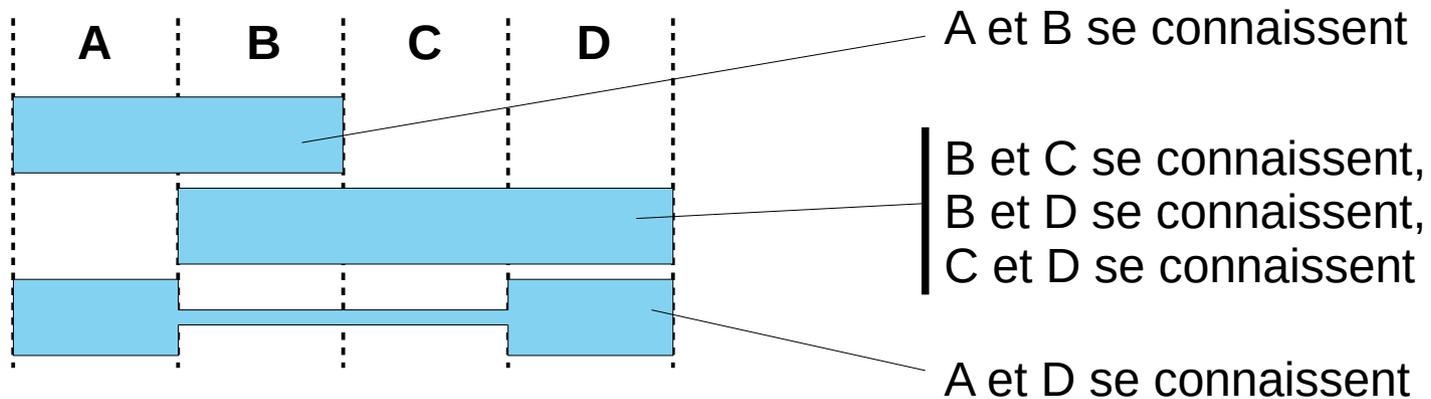
Réducteur car un personnage ne peut appartenir qu'à un seul groupe !

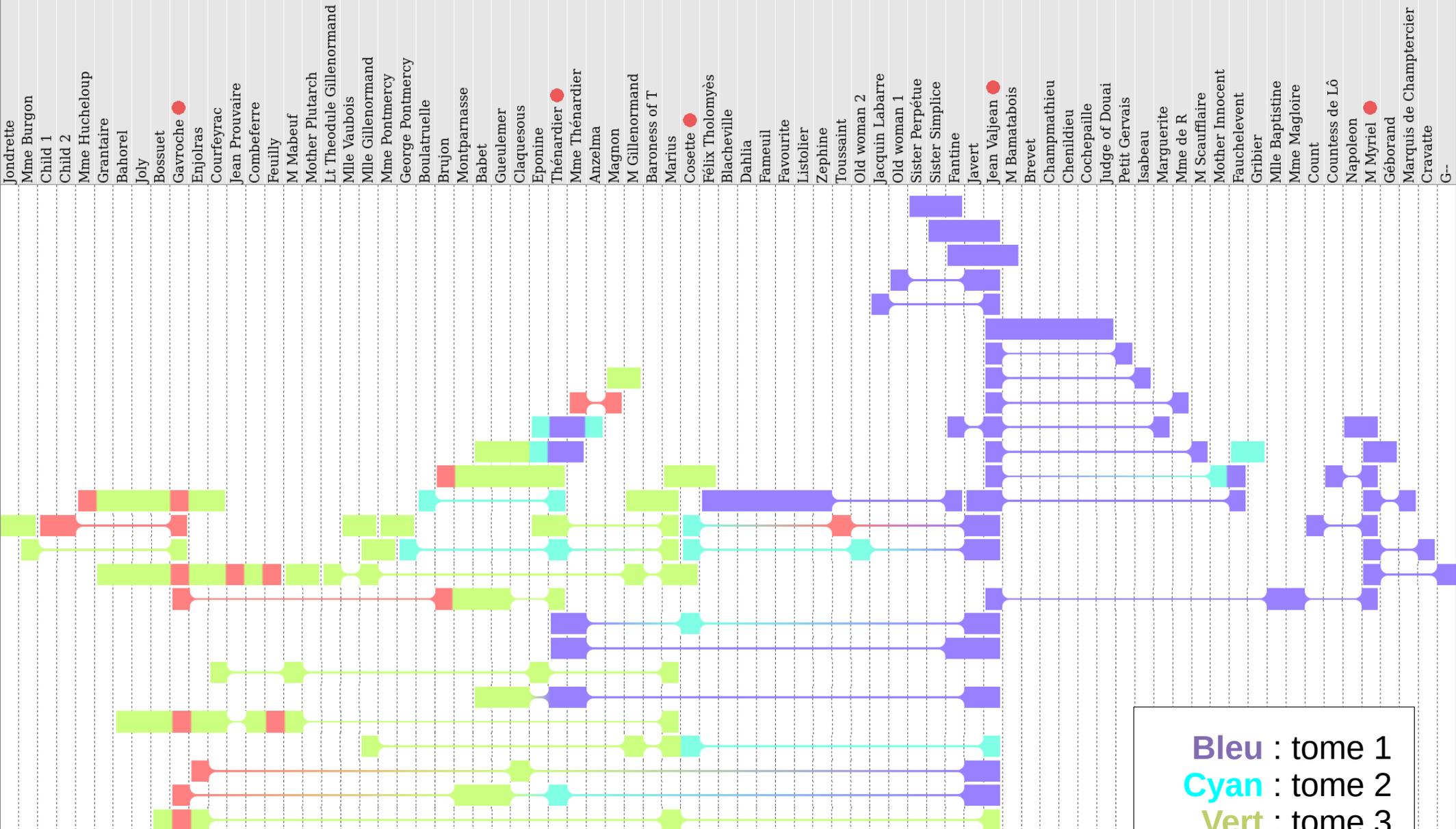
<https://bost.ocks.org/mike/miserables/>

Boîtes arc-en-ciel

➤ Approche par boîtes arc-en-ciel

- ◆ 1 personnage = 1 colonne
- ◆ 1 boîte = 1 groupe de personnages qui se connaissent tous 2 à 2





80 ! = 71569457046263802294811533723186532165584657342
 3657525771094450582270392554801488426689448672808140
 80000000000000000000 = $7,2 \times 10^{118}$

=> 1h de calcul

Comparaison des propriétés des médicaments

- **Souvent, plusieurs médicaments sont disponibles pour une indication**
 - ◆ Les outils actuels permettent de consulter les propriétés d'un médicament
 - ◆ Mais pas la comparaison entre plusieurs médicaments !
 - ◆ **Problème : les propriétés des médicaments sont décrites de manière différente d'un médicament à l'autre**

4.3 Contre-indications

Brilique

- Hypersensibilité à la substance active ou à l'un des excipients mentionnés à la rubrique 6.1 (voir rubrique 4.8)
- **Saignement pathologique en cours**
- Antécédent d'hémorragie intracrânienne (voir rubrique 4.8)
- Insuffisance hépatique modérée à sévère (voir rubriques 4.2, 4.4 et 5.2)
- L'administration concomitante de ticagrelor avec de puissants inhibiteurs du CYP3A4 (par exemple kétoconazole, clarithromycine, néfazodone, ritonavir et atazanavir) est contre-indiquée, en raison du fait qu'elle peut entraîner une augmentation substantielle de l'exposition au ticagrelor (voir rubrique 4.5).

Comparaison des propriétés des médicaments

4.3. Contre-indications [Retour en haut de la page](#)

Aspirine

Ce médicament est CONTRE-INDIQUÉ dans les situations suivantes:

- hypersensibilité à l'acide acétylsalicylique ou à l'un des excipients,
- antécédents d'asthme provoqué par l'administration de salicylés ou de substances d'activité proche, notamment les anti-inflammatoires non stéroïdiens,
- enfant de moins de 6 ans : risque de fausse route; utiliser une autre présentation,
- grossesse au-delà de 24 semaines d'aménorrhée (5 mois révolus) pour des doses supérieures à 100 mg par jour ([voir rubrique 4.6](#)),
- ulcère gastroduodéal en évolution,
- toute maladie hémorragique constitutionnelle ou acquise,
- risque hémorragique,
- insuffisance hépatique sévère,
- insuffisance rénale sévère,
- insuffisance cardiaque sévère non contrôlée,
- en association avec le méthotrexate utilisé à des doses supérieures à 20 mg/semaine ([voir rubrique 4.5](#)) et pour des doses anti-inflammatoires (≥ 1 g par prise et/ou ≥ 3 g par jour), ou pour des doses antalgiques ou antipyrétiques (≥ 500 mg par prise et/ou < 3 g par jour) d'acide acétylsalicylique.
- en association avec les anticoagulants oraux pour des doses anti-inflammatoires (≥ 1 g par prise et/ou ≥ 3 g par jour), ou pour des doses antalgiques ou antipyrétiques (≥ 500 mg par prise et/ou < 3 g par jour) d'acide acétylsalicylique et chez un patient ayant des antécédents d'ulcère gastro-duodéal ([voir rubrique 4.5](#)).
- En raison de la présence d'aspartam, ce médicament est contre-indiqué en cas de phénylcétonurie,.

4.3. Contre-indications [Retour en haut de la page](#)

Ce médicament ne doit JAMAIS ETRE UTILISE dans les situations suivantes:

- hypersensibilité à l'héparine;
- antécédents de thrombopénie grave de type II (thrombopénie induite par l'héparine ou TIH), sous héparine non fractionnée ou sous héparine de bas poids moléculaire. ([voir rubrique 4.4 Précautions d'emploi - TIH](#));
- **maladies hémorragiques constitutionnelles;**
- lésion organique susceptible de saigner;
- manifestations ou tendances hémorragiques liées à des troubles de l'hémostase: les coagulopathies peuvent être une exception à cette règle ([Cf rubrique 4.1](#)) à condition qu'elles ne compliquent pas une TIH;
- hémorragie intracérébrale.

Une anesthésie péridurale ou une rachianesthésie ne doivent jamais être effectuées pendant un traitement par héparine.

Ce médicament est GENELEMENT DECONSEILLE en cas de:

- accident vasculaire cérébral ischémique étendu à la phase aiguë, avec ou sans troubles de la conscience. Lorsque l'accident vasculaire cérébral est d'origine embolique, le délai est de 72 heures. La preuve de l'efficacité de l'héparine à dose curative n'a pas été établie à ce jour, quelles que soient la cause, l'étendue et la sévérité clinique de l'infarctus cérébral,
- hypertension artérielle non contrôlée,
- endocardite infectieuse aiguë (en dehors de celles survenant sur prothèse mécanique).

Les médicaments suivants sont généralement déconseillés en association avec l'héparine ([voir rubrique 4.5](#)):

- l'acide acétylsalicylique (en tant qu'analgésique et antipyrétique),
- les AINS,
- le dextran.

Comparaison des propriétés des médicaments

➤ Connaissances hétérogènes

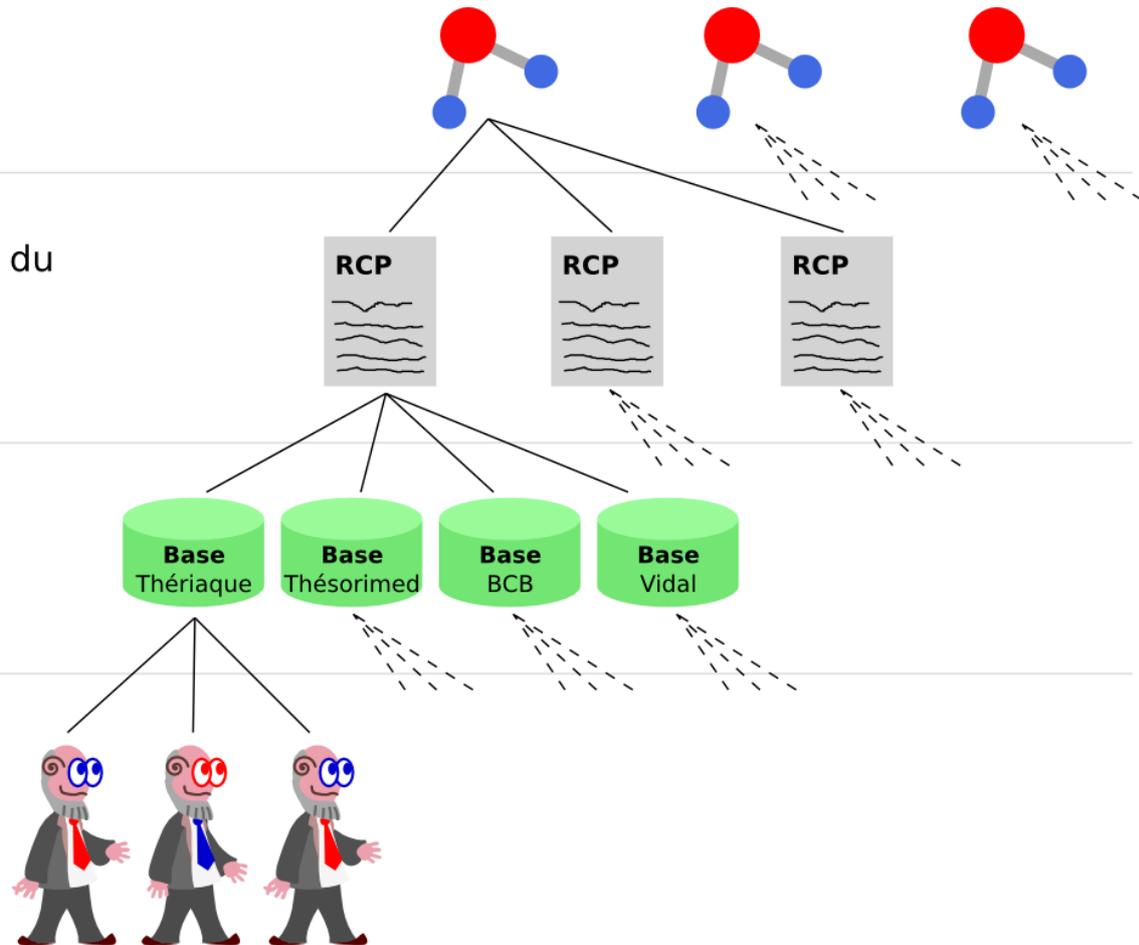
◆ => nécessité de les rendre homogènes via un raisonnement terminologique et sémantique

Source d'hétérogénéité 1 :
lié aux différences entre les propriétés des médicaments

Source d'hétérogénéité 2 :
lié à des rédactions différentes du RCP pour des principes actifs identiques ou partageant une même propriété

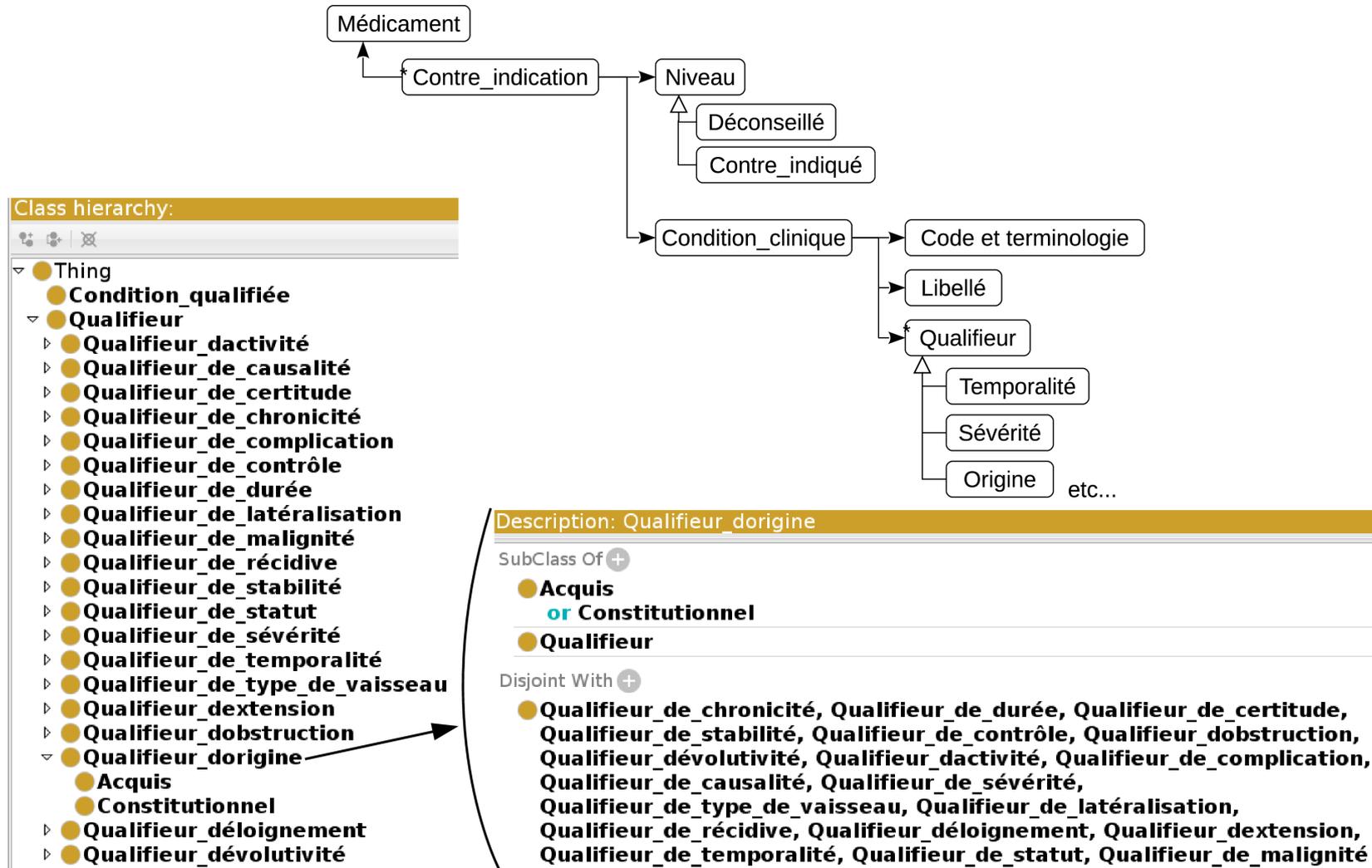
Source d'hétérogénéité 3 :
lié aux différences entre les banques médicaments (ligne éditoriale et structuration)

Source d'hétérogénéité 4 :
lié aux différences entre les experts codeurs au sein d'une même base médicament



Comparaison des propriétés des médicaments

- ◆ Terminologie médicale (CIM10)
- ◆ Ontologie formelle
- ◆ Raisonneur
- ◆ Projet VIIP (ANSM)



Comparaison des propriétés des médicaments

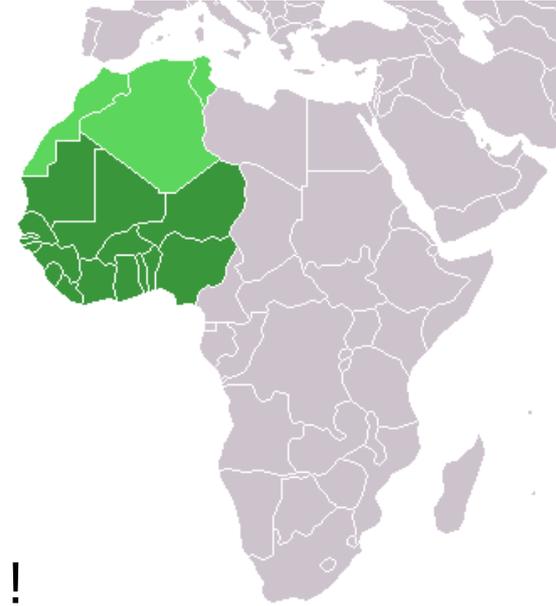
➤ => comparaison visuelle des propriétés de 8 médicaments similaires

	Prostaglandine E1				Inhibiteurs de la phosphodiesterase de type 5			
	Vitaros	Muse	Edex	Caverject	Viagra	Levitra	Spedra	Cialis
							Antécédents de troubles du rythme sévères	Antécédents d'insuffisance cardiaque
							Insuffisance rénale sévère	Troubles du rythme non contrôlés
Syncope	🚫							
Hypotension orthostatique	🚫							
Balanite		🚫						
Urétrite masculine		🚫						
			Port d'implant pénien	♂		Insuffisance rénale terminale nécessitant une dialyse	Douleur angineuse au cours des rapports sexuels	Hypertension artérielle (non contrôlée)
Hypersensibilité prostaglandines								
Rapports sexuels sans préservatif avec femme en âge de procréer ou enceinte				♀				
Prédisposition au priapisme				☀️				
Malformation anatomique du pénis				♂				
Pathologie contre-indiquant l'activité sexuelle								
Femme								♀
Âge	18	15	15	15	18	18	18	18

Langage iconique en médecine

➤ La complexité n'est pas toujours là où on l'attend

- ◆ En Afrique : la médecine traditionnelle est complémentaire de la médecine conventionnelle
 - Moins cher, plus facile d'accès hors des villes, plus adaptée aux maladies locales
- ◆ Mais 1027 langues différentes en Afrique de l'Ouest !
 - Beaucoup ne s'écrivent pas, illettrisme important
 - => Problème de communication entre tradipraticien



➤ Une solution est l'utilisation de langages iconiques

- ◆ Un jeu de pictogramme
- ◆ Une grammaire combinatoire
 - => permet de créer un grand nombre d'icônes à partir d'un nombre restreint de pictogrammes

SysMedTrad

➤ Les remèdes traditionnels sont généralement à base de plantes

- ◆ Représentation des plantes médicinales à l'aide d'icônes
- ◆ Permet de reconnaître les plantes à partir de critères botaniques
 - Couleur des fleurs
 - Position des feuilles, ...

➤ Grammaire combinatoire

- ◆ 35 pictogrammes
- ◆ 8 couleurs
- ◆ => plus de **400 000** icônes

➤ S'appuie sur une ontologie formelle

[Modelization of recipe in African traditional medicine with visual ontology approach, iconic sketch, Kouame A et al., 2016]

Plante_Adenia lobata	Plante_Ananas comosus	Plante_Azadirachta indica_A._Juss	Plante_Carica papaya_L.
Plante_Chrysophyllum africanum_A._DC.	Plante_Citrus aurantifolia_Christm._Swingle	Plante_Cochlospermum tinctorium_Perr.	Plante_Cocos nucifera_L.
Plante_Combretum micranthum_G._Don	Plante_Cymbopogon citratus_DC._Stapf	Plante_Enantia polycarpa_DC._Engl.	Plante_Eucalyptus camaldulensis_Denhardt
Plante_Ficus exasperata_Vahl	Plante_Hibiscus sabdariffa_L.	Plante_Lanena microcarpa_Engl._et_K._	Plante_Manihot esculenta_Crantz
Plante_Musa x paradisiaca_L.	Plante_Nephrolepis biserrata	Plante_Scaphopetalum amoenum_A._Chev.	Plante_Senna alata_L._Roxb.
Plante_Senna occidentalis_L.	Plante_Vernonia colorata_Willd._Drake		

VCM

(Visualisation des Concepts Médicaux)

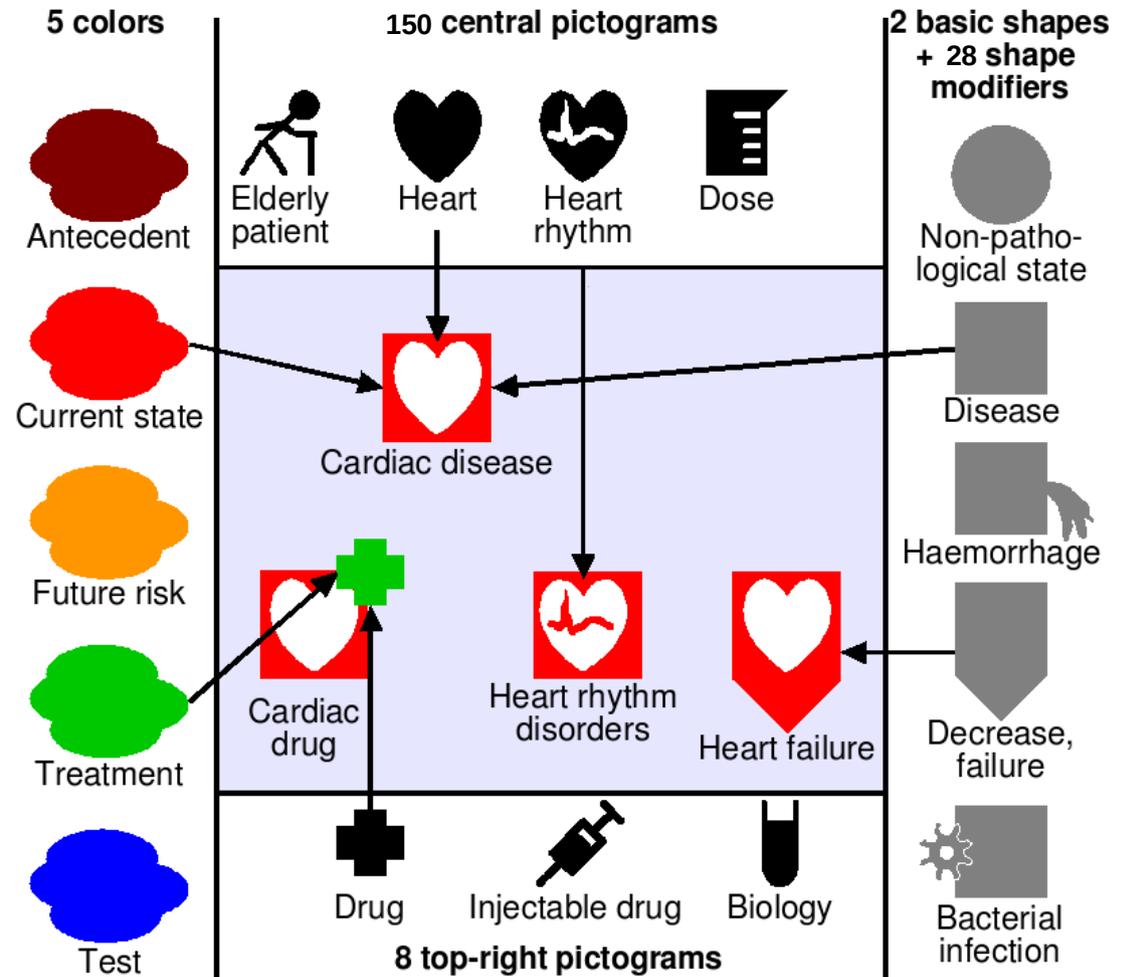
➤ Un langage iconique pour la médecine conventionnelle

- ◆ Symptômes
- ◆ Pathologie
- ◆ Traitements
- ◆ Examens
- ◆ Risques

➤ Grammaire combinatoire

- ◆ 150 pictogrammes
- ◆ 5 couleurs
- ◆ 30 formes
- ◆ => plus de **200 millions** d'icônes différentes

➤ Une sémantique formelle



[Formalization of the semantics of iconic languages: An ontology-based method and four semantic-powered applications, Lamy JB et al., 2017]

VCM

(Visualisation des Concepts Médicaux)

➤ **Problème : des combinaisons conduisent à des icônes incohérentes**

◆ Exemple : cancer du sommeil !?!



➤ **Comment déterminer la consistance des 200 millions d'icônes ?**

◆ Raisonnement sémantique à base d'ontologie formelle

● Par classe d'icônes : toutes celles qui ont tel et tel pictogrammes sont incohérentes

● Puis par icônes individuelles, pour les icônes restantes

◆ En 2010 : 1 jour de calcul

◆ En 2017 : 1 heure !

VCM (Visualisation des Concepts Médicaux)

The screenshot displays a medical software interface with the following components:

- Header:** Patient ID L31M, Name POUDRIER SERAPHIN, Date of Birth 12/08/1937, Age 74 ans, Weight kg, Height cm, IMC, IPP 910015484, IEP, Unité, Lit NC. User: MCK. MCK, Time: 09:31, Déconnexion link.
- Navigation:** Accueil, Production de Soins (selected), Administrations.
- Document Management:** Classement du dossier (Trajectoire, Evènement, Spécialité, Unité médicale), Visualisation (Navigation, Lecture, IMG), Filtres 226 / 226 documents sélectionnés.
- Documents Patient:** Cardiology and vascular diseases (18), General surgery (1), Orthopedic and traumatology (51). Selected document: du 19/09/2001 au 17/10/2008.
- Document List:** Acte(s), Courier de sortie DR, CRO Orthopédie 06/10/2008, Fracture fermée de l'acétabulum, Courier de cs Dr CHAMPIED, EPAULE DROITE 01/07/2008, Courier de cs Dr CHAMPIED, Courier DR CHAMPIED 12/06/2008, Acte(s), DMI PTH_ Traçabilité, CR HOSP 05/05/2008, CRO Orthopédie 28/04/2008, Info anesthésie 27/04/2008, consentement patient acte invasif, Fracture fermée du col du fémur, RP+GRIL COSTAL DROIT, BASSIN 05/11/2007.
- Medical Concept Visualization (Codage):** Hospitalisation du 20/09/2001 au 18/10/2008, UM : Chirurgie 2 Dr ROY, du 28/04/2008 au 07/05/2008. Includes a grid of icons representing various medical concepts.
- DIAGNOSTIC PRINCIPAL:** S72.00 - fracture fermée du col du fémur.
- DIAGNOSTICS SECONDAIRES:** G62.1 - polynévrite alcoolique, G31.2 - dégénérescence du système nerveux liée à l'alcool.
- ACTES:** NEKA011 - Remplacement de l'articulation coxofémorale par prothèse fémorale cervicocéphalique et cupule mobile TRIZNA Erik, le 29/04/2008 à 09h01; NEKA011 - Remplacement de l'articulation coxofémorale par prothèse fémorale cervicocéphalique et cupule mobile BREMAUD Marc, le 29/04/2008 à 09h01.

Utilisation des icônes dans un logiciel de gestion de dossiers patients hospitaliers

(McKesson / MainCare)

Conclusion

➤ Progrès

- ◆ En terme de volume
- ◆ Mais aussi dans la nature des visualisations
 - « Tout » peut être visualiser aujourd'hui
 - Données géographiques
 - Entités abstraites
 - Relations, interactions

Visualisation scientifique : données numériques
Visualisation d'information
Visualisation de connaissances
Visualisation du raisonnement ???

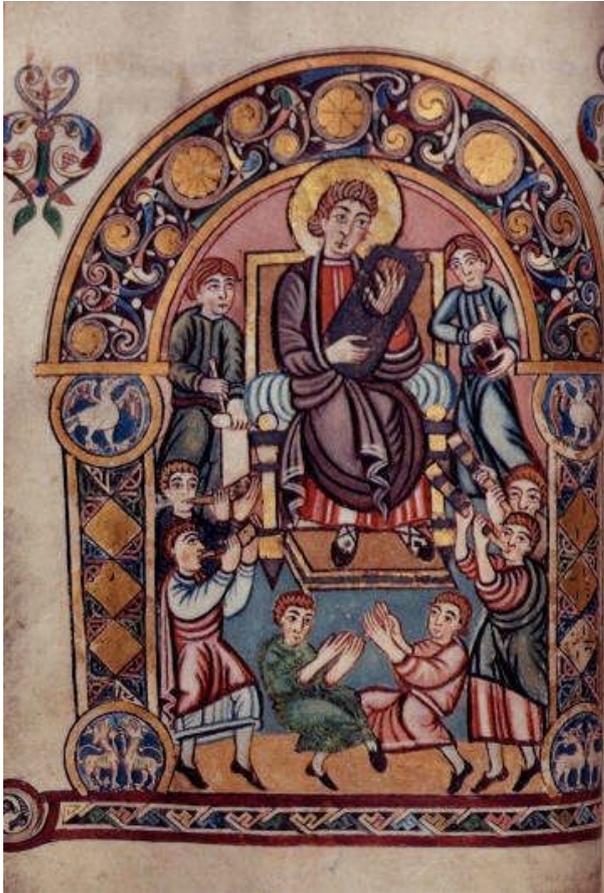


➤ « *There is no field where **humanisation of knowledge** through the eye would not be possible* » (Otto Neurath, Autobiography)

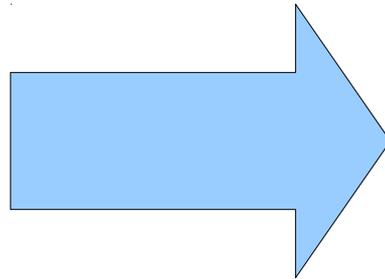
Les outils disponibles ont toujours influé sur les représentations
...et inversement

« *L'homme a construit le ciel à l'imitation des instruments qui lui servaient à l'observer* »

Georges Sorel



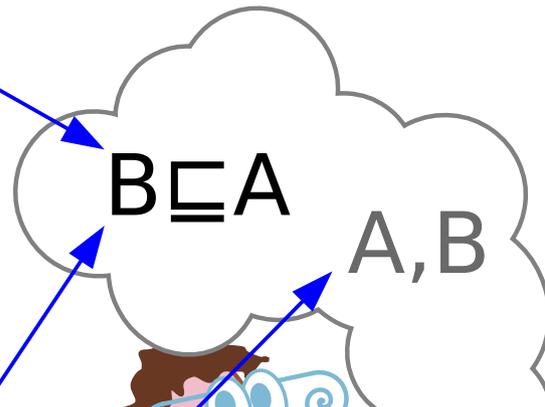
Lyre médiévale



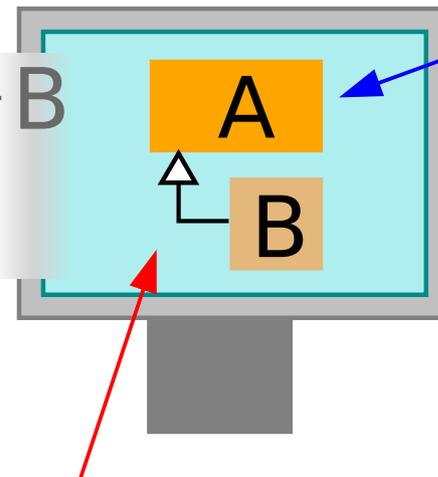
Premières portées

Jeopardy ?

On a ceci



On veut produire cela



Pour susciter ceci dans l'esprit humain

La visualisation doit être adaptée à l'être humain (capacité visuelle,...)

Conclusion

- **De nouvelles possibilités visuelles pour présenter les données et les connaissances**
 - ◆ Faciliter la compréhension, l'apprentissage
 - ◆ Permettre de nouvelles découvertes
 - ◆ S'affranchir de la barrière de la langue

- **Les progrès du numérique nous obligent à « réviser » ce qui est possible et ce qui ne l'est pas**
 - ◆ Les diagrammes linéaires / boîtes arc-en-ciel :
 - du temps de Leibniz : **impossible.**
 - il y a 10 ans : **trop complexe...**
 - aujourd'hui : **possible !**

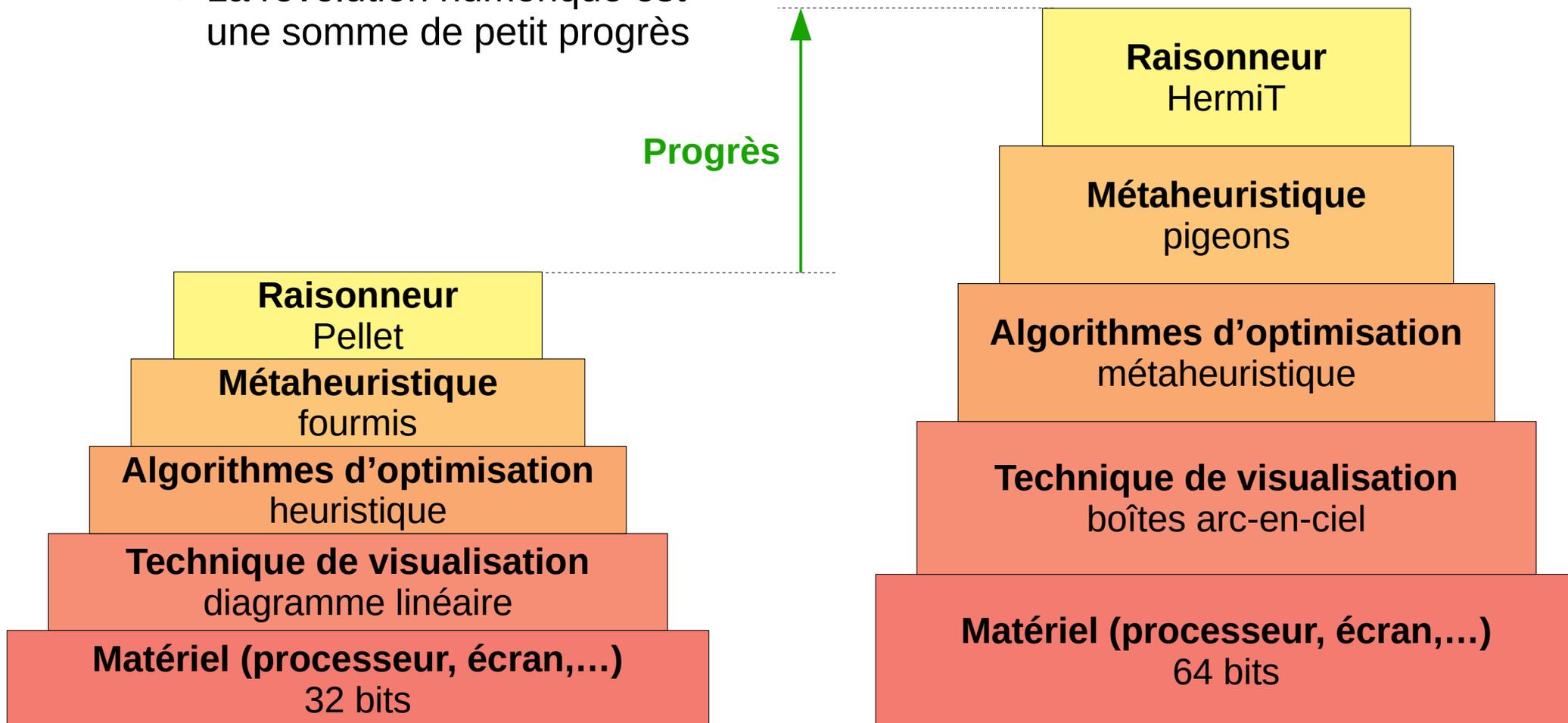
- => « désapprendre » une partie de ce que nous savons

- => beaucoup reste encore à découvrir !

Le « progrès » numérique

Empilement de couches

- ◆ Modèle classique en informatique
- ◆ Chaque couche progresse indépendamment
 - La révolution numérique est une somme de petit progrès



Questions et discussion



Références

- ◆ *Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization*, Liu et al., 2008
- ◆ *Diagrammatic autarchy: linear diagrams in the 17th and 18th centuries*, F Bellucci et al., 2014
- ◆ *Les oiseaux picorant artificiels : une nouvelle méta-heuristique inspirée du comportement des pigeons*, Lamy JB, 2017
- ◆ *Rainbow boxes: a new technique for overlapping set visualization and two applications in the biomedical domain*, Lamy JB et al., 2017
- ◆ *Owlready: Ontology-oriented programming in Python with automatic classification and high level constructs for biomedical ontologies*, Lamy JB et al., 2017
- ◆ *Modelization of recipe in African traditional medicine with visual ontology approach, iconic sketch*, Kouame A et al., 2016
- ◆ *Formalization of the semantics of iconic languages: An ontology-based method and four semantic-powered applications*, Lamy JB et al., 2017