

LA CIRCULATION EUROPÉENNE DES MONNAIES MÉDIÉVALES « BELGES »

APPROCHES GÉOGRAPHIQUE ET D'ANALYSE DE RÉSEAUX

Sébastien de Valeriola
(Université libre de Bruxelles)

Nicolas Ruffini-Ronzani
(Université de Namur / Archives de l'État)



« Mouton » d'or, Liège, 1364-1378
(Berlin, Musée Bode)

Aspects techniques : outil et *vade mecum*



Un outil d'analyse de réseaux en libre accès :
<https://gephi.org/>

A poster for a workshop. The background features a faint, repeating pattern of medieval manuscript illuminations. At the top left is the logo of the University of Namur (UNAMUR) and the 'raME' logo. At the top right is the logo of the University of Louvain (UCL). The main text is centered: 'HUMANITÉS NUMÉRIQUES : DE NOUVEAUX OUTILS POUR LE MÉDIÉVISTE'. Below this is 'Atelier n° 1' and 'Initiation à l'analyse de réseaux'. Further down is '- R.M.B.L.F. -' and the 'fnrs' logo with the tagline 'LA LIBERTÉ DE CHERCHER'. The date 'Louvain-la-Neuve, 8 mai 2018' is centered below. At the bottom, the names and email addresses of the organizers are listed: 'Nicoas Ruffini-Ronzani (UNamur / UVSQ) et Sébastien de Valeriola (UCLouvain / UGent)' with 'nicolas.ruffini@unamur.be' and 'sebastien.devaleriola@uclouvain.be'.

Un *vade mecum* en libre accès :
<https://paths.unamur.be/prame/cartulaires-de-wallonie/gephi>

Principe général

Le principe de l'analyse des réseaux sociaux est simple : il s'agit d'étudier un groupe d'entités sur base des relations qu'elles entretiennent entre elles.

Ces entités et ces relations peuvent représenter n'importe quoi :

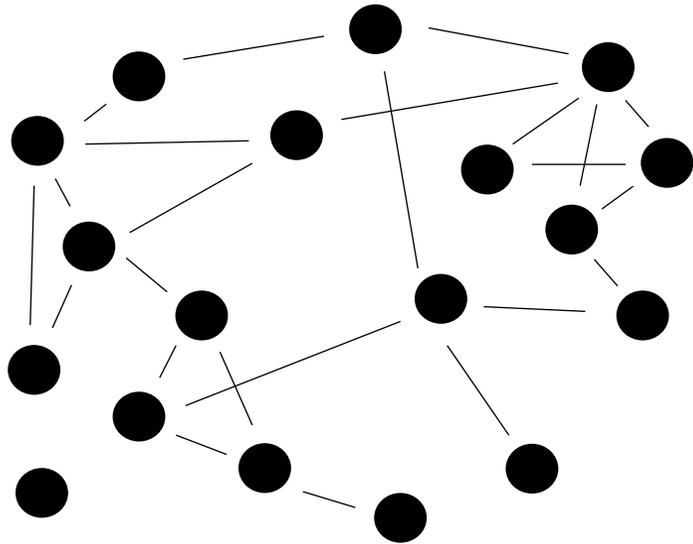
- des personnes qui échangent des lettres ;
- des marchands qui concluent un contrat ensemble ;
- des villes qui sont reliées entre elles par des routes ;
- des villages qui partagent un « champ de vision » similaire ;
- des manuscrits qui contiennent les mêmes textes ;
- des mots qui partagent une certaine similarité sémantique ;
- ...

L'étape initiale de définition même du réseau analysé est cruciale : quelles sont les entités que nous étudions, et quelles relations entre elles considérons-nous ?

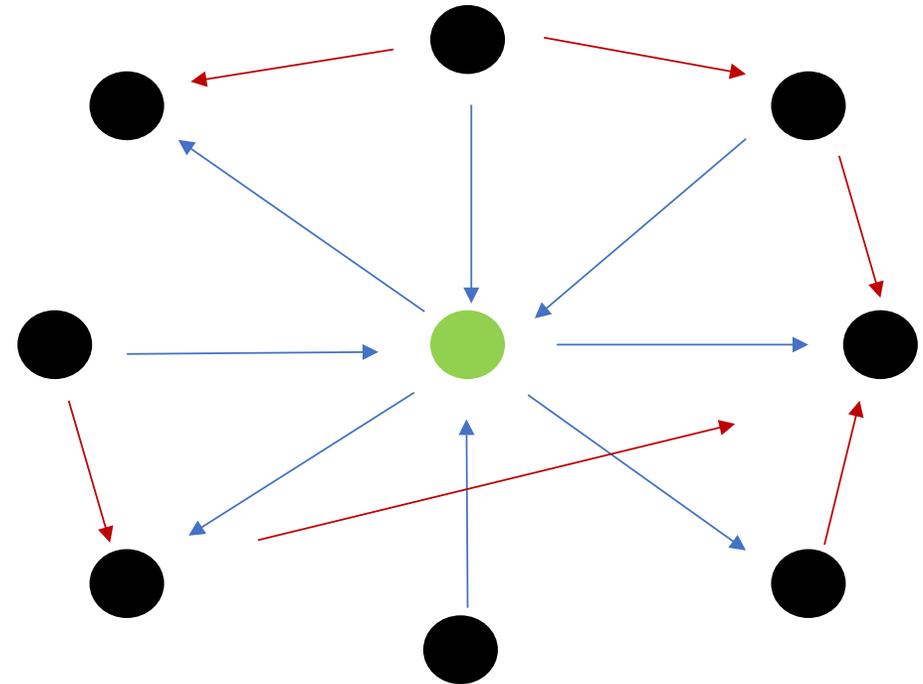
Des choix différents (même légèrement) mènent à des réseaux différents.

Réseaux complets et réseaux personnels/ego-centrés

Réseau complet



Réseau ego-centré

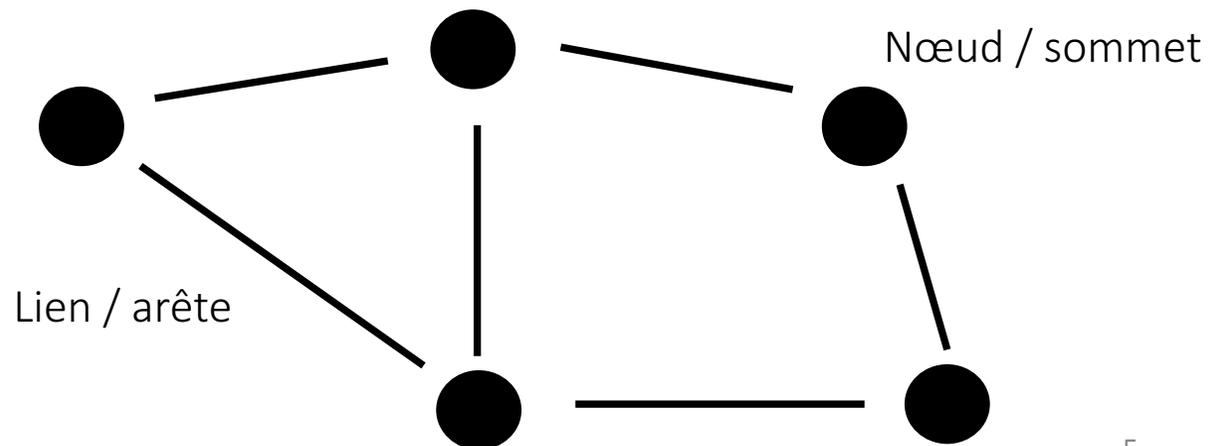


Le réseau : définition formelle

La base de l'analyse des réseaux est la représentation du réseau par un objet mathématique : le graphe.

Un graphe est un ensemble d'éléments appelés sommets accompagné d'un ensemble de relations entre ceux-ci, appelées arêtes.

Il est habituel de représenter graphiquement cette structure à l'aide de formes géométriques (figurant les sommets) reliées entre elles par des courbes (figurant les arêtes).

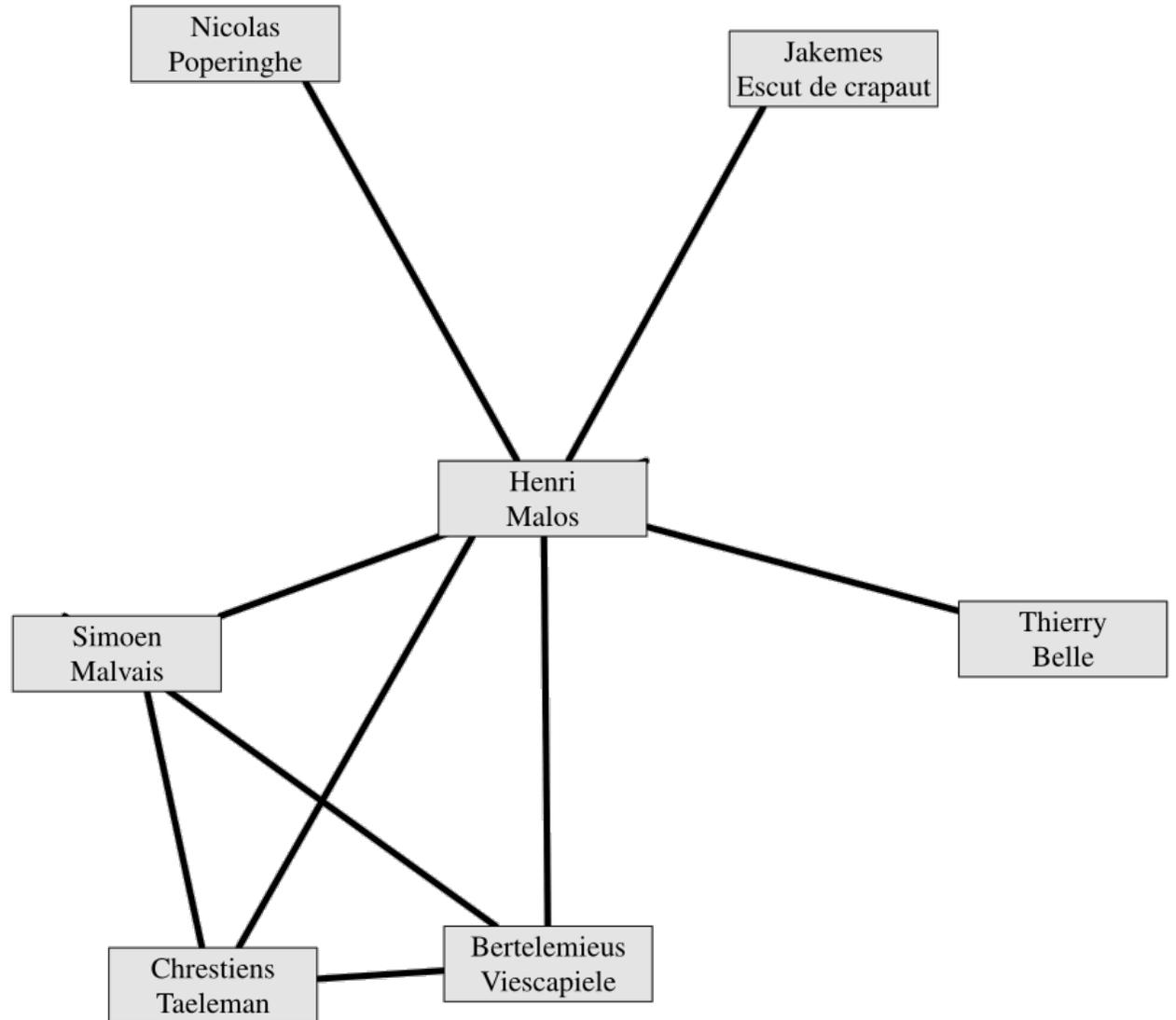


Exemple de graphe

Nous pouvons ainsi par exemple considérer le réseau égo-centré d'un acteur économique yprois du XIIIe siècle (obtenu à partir d'un corpus de chirographes), et le graphe qui lui est associé.

Les sommets de ce graphe représentent des bourgeois yprois, qui sont joints deux à deux par une arête s'ils sont liés commercialement (dans un sens encore à définir).

Le graphe possède sept sommets et neuf arêtes.



Graphes orientés et graphes non-orientés

Les arêtes d'un réseau peuvent être « à double sens », auquel cas elles rendent compte de relations symétriques ; on parle alors de graphe non orienté.

C'est le cas du graphe représenté sur le slide précédent : les arêtes peuvent par exemple y figurer la relation « X apparaît avec Y dans un même chirographe ». Celle-ci est bien symétrique : si le bourgeois Henri Malos apparaît dans un chirographe avec Jakemes Escut de crapaut, Jakemes Escut de crapaut apparaît évidemment dans un chirographe avec Henri Malos.

Au contraire, les arêtes d'un graphe orienté sont « à sens unique » et rendent compte de relations asymétriques. La relation « être créancier de » est un exemple de telle relation : si Jakemes Escut de crapaut est le créancier de Henri Malos, il est incorrect de dire que Henri Malos est forcément le créancier de Jakemes Escut de crapaut.

Exemple de graphe orienté

Les arêtes sont alors représentées par des flèches.

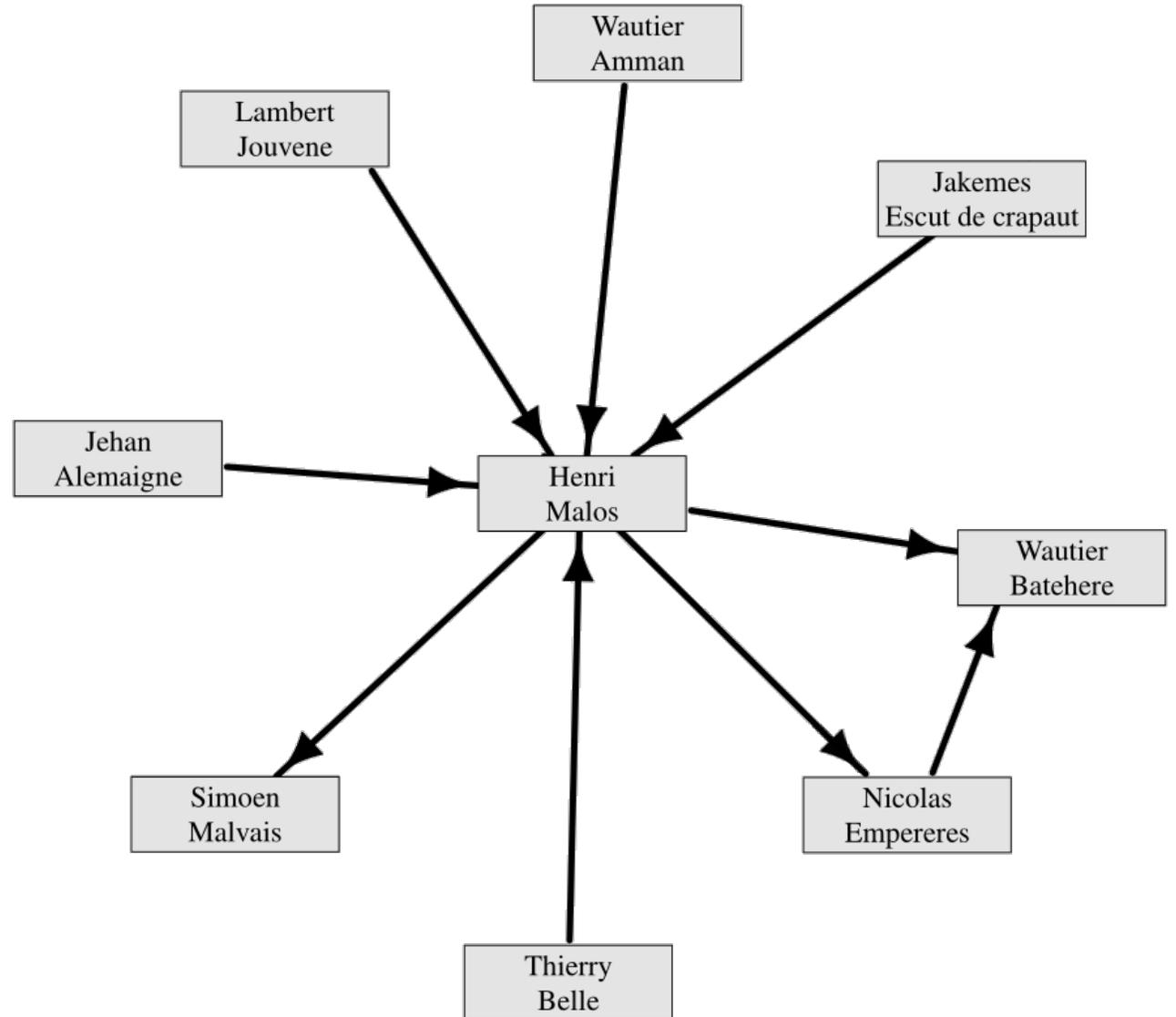
La flèche reliant

Nicolas Empereres

à

Wautier Batehere

signifie donc qu'il existe un chirographe dans lequel le premier joue le rôle du créancier, tandis que le second joue le rôle du débiteur.



Graphes pondérés ou valués

Il arrive que les relations entre deux personnes soient multiples.

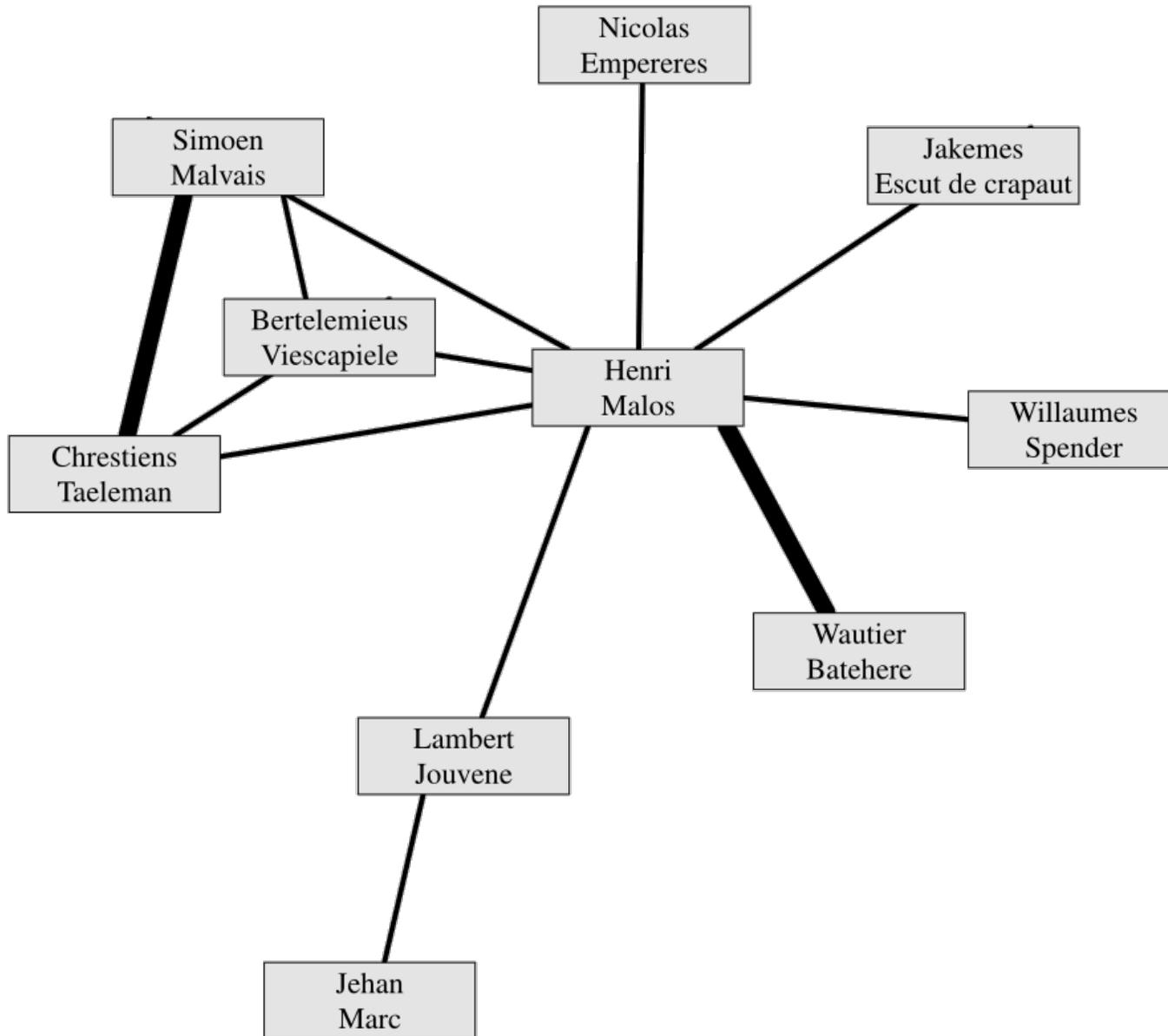
Dans les exemples précédents, il est envisageable que deux individus aient conclu plus d'un contrat ensemble.

Plutôt que de tracer plusieurs arêtes, on associe à chacune d'elles un nombre entier, appelé **poids**, qui représente le nombre de fois que la relation entre les deux sommets est attestée.

On parle alors de graphe **pondéré** ou **valué**.

Cette caractéristique est parfois figurée par l'affichage du poids à côté de l'arête, d'autres fois par la largeur de l'arête elle-même.

Exemple de graphe pondéré



Toutes les arêtes ont un poids égal à 1, sauf celle qui relie

Simoen Malvais
et
Chrestiens Taeleman

et celle qui relie

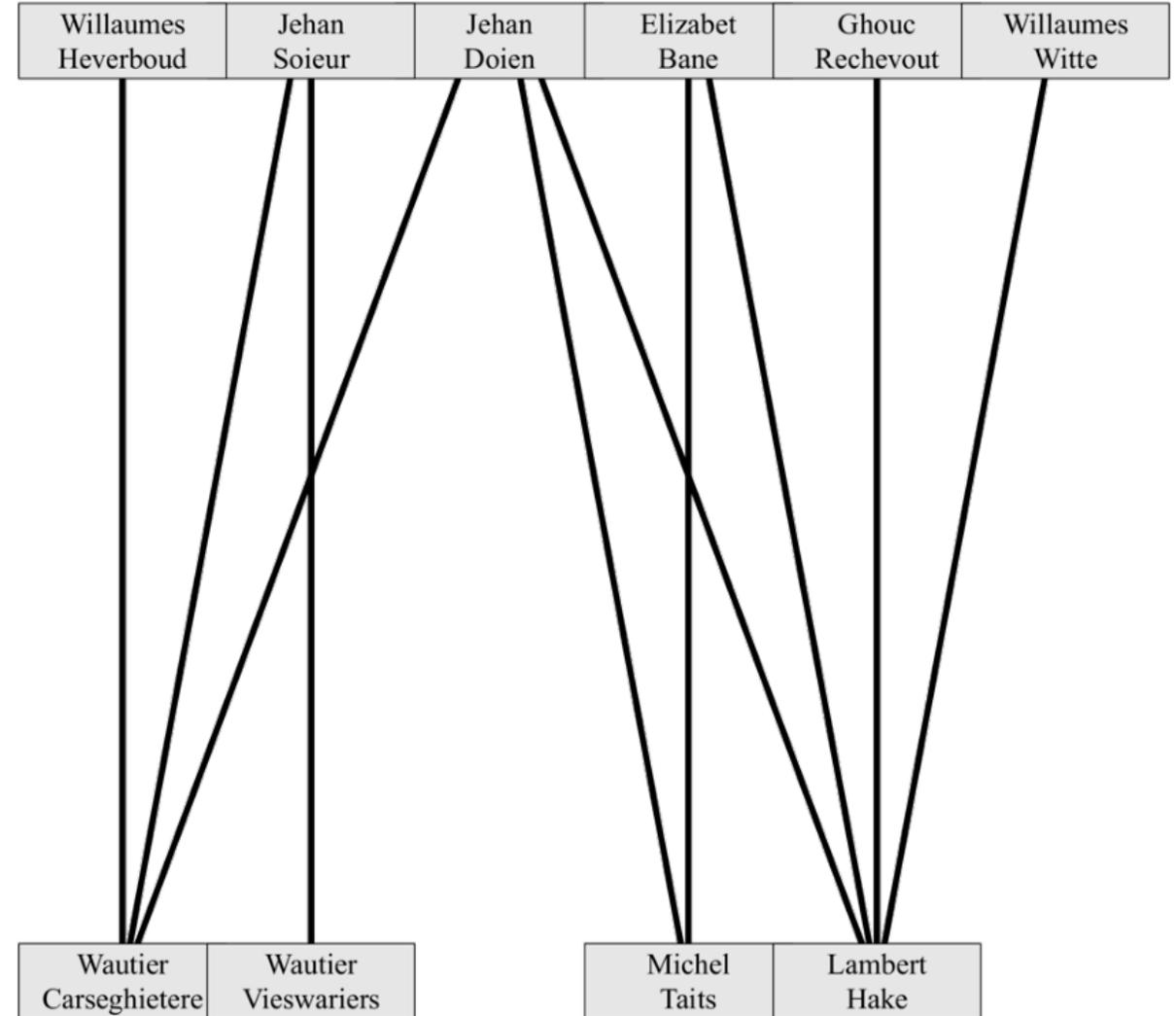
Henri Malos
et
Wautier Batehere

qui sont de poids 2.

Graphes bipartis

Dans un graphe biparti, les sommets appartiennent à deux catégories, de telle sorte que les arêtes ne relient pas les sommets des mêmes catégories.

Par exemple, on pourrait définir les sommets comme soit des créanciers professionnels, soit des débiteurs, et des arêtes qui représentent la relation « prête de l'argent à ».

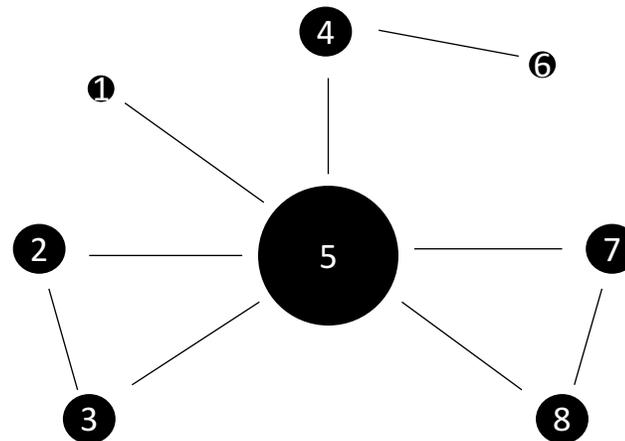
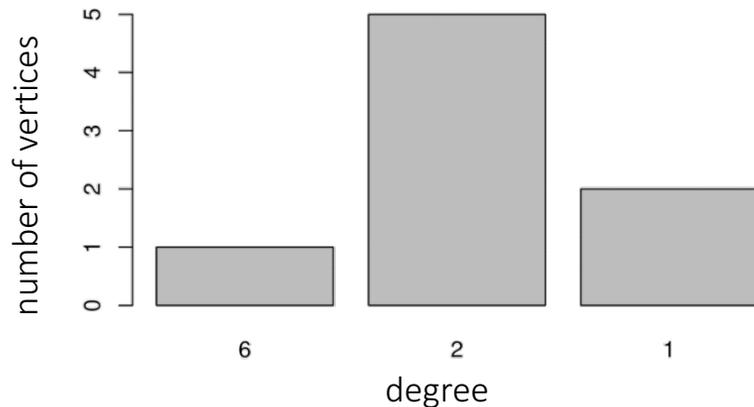


La notion de « degré »

On appelle degré d'un sommet le nombre total d'arêtes reliant celui-ci aux autres sommets du graphe. Les individus ayant un degré élevé sont très impliqués dans le réseau correspondant.

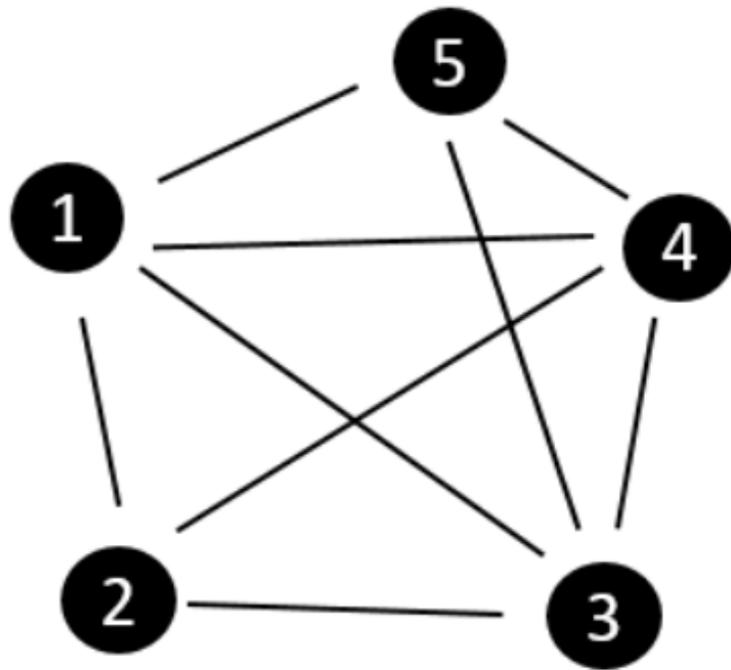
Une pratique courante tend à représenter les sommets d'un réseau en utilisant des figures géométriques dont la taille est proportionnelle aux degrés : on peut ainsi en un coup d'œil en identifier les acteurs principaux.

À un niveau plus global, l'analyse de la distribution des degrés de tous les sommets d'un graphe (par exemple à l'aide d'un histogramme) peut être porteuse de beaucoup d'informations.

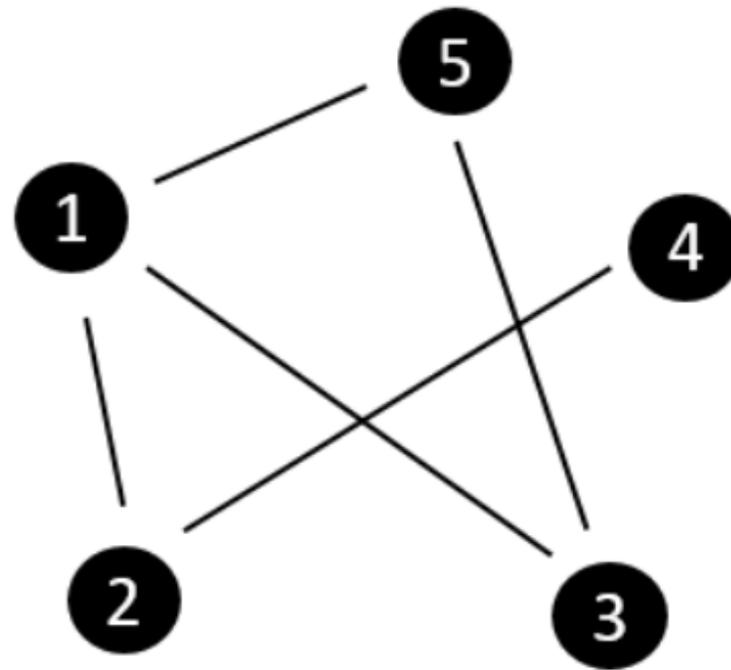


La notion de densité

La densité d'un réseau est la proportion d'arêtes dans le réseau par rapport au nombre maximal d'arêtes qu'un réseau ayant le même nombre de sommets peut posséder.



densité = 90 %



densité = 50 %

Autres notions, autres questions à poser aux sources...

D'autres outils permettent de mener d'autres types d'enquêtes :

- les métriques de centralité permettent, comme le degré, de déterminer quels sont les nœuds les plus importants du réseau (en variant la signification de la notion d'importance) ;
- le coefficient d'homophilie permet de déterminer si les nœuds similaires (par exemple appartenant à une même catégorie) ont tendance à être connectés l'un à l'autre ou pas ;
- Le coefficient de transitivité donne une estimation de la probabilité que les sommets adjacents d'un sommet soient eux-mêmes connectés ;
- la détection de communautés permet d'identifier des groupes de nœuds qui sont bien reliés entre eux et peu reliés avec l'extérieur ;
- ...

La documentation numismatique : de l'iconographie, du texte et un contexte archéologique

Denier et « gros » issus des comtés de Flandre et de Hainaut (Bruxelles, Bibliothèque royale de Belgique)



« Mouton » d'or,
Liège, 1364-1378
(Berlin, Musée
Bode)



La production monétaire au Moyen Âge



Trouvailles isolées et “trésors”



Trésor de Pilligerheck. Ensemble de monnaies carolingiennes.

Rhénanie-Palatinat, Allemagne – 862/863

Trèves, Rheinisches Landesmuseum



L'acquisition des données

AIMÉ HAECK

**MIDDELEEUWSE MUNTEN
VAN DE VROEGERE BELGISCHE
VORSTENDOMMEN EN HEERLIJKHEDEN
IN VONDSTEN
(751 - 1433)**



**LES MONNAIES MIEVIALES
DES ANCIENNES
PRINCIPAUTES ET SEIGNEURIES BELGES
DANS LES TROUVAILLES
(751 - 1433)**

- : *Schatvondsten* : Gannarve 1 1924|>1120 (1 Thuin?)

REGINARDUS - RÉGINARD (1025-1037) - KOENRAAD II, KONING - CONRAD II, ROI (1024-1027)

Denarius/Maastricht (Dgs.94; de Ch.6; Dbg.251; Fr_M.20) : *Schatvondsten* : Mgowo 1893|1037 (1); Berlin I 1856|1060 (1); Österby, Ekeby 1886|>1079 (3); Berlin II 1856|1090-1100 (1); Kose 1982|>1121 (1)

Denarius/Maastricht (Dgs.94; Dbg.1369; Fr_M.sub20; Vh.F67) : *Schatvondsten* : Lübeck 1875|1040 (1); Kose 1982|>1121 (1)

Denarius/Maastricht (Dgs.95; de Ch.9; Dbg.253; Fr_M.25; Vh.G662)^[68] : *Schatvondsten* : Norledet 1910|>1035 (1 of 2); Lilla Klintegårda 1989|1036 (1); Lübeck 1875|1040 (1); Lyssebäck 1886|>1042 (3); Gandarve 1952|>1047 (1); Plonsk 1869|1065 (1); Maidla 1974|>1066 (1); Lodenoje Pole III 1949|1073 (1); Österby, Ekeby 1886|>1079 (15); Stora Sojdeby I 1910|>1089 (2); Aru 1886|>1090 (1); Store Frigård 1928|>1106 (1)

Denarius/Maastricht (Dgs.96; Dbg.1388; Fr_M.26; Vh.F69 (Maastricht))^[69] : *Schatvondsten* : Stige 1904|>1021 (1); Ellilä 1950|1030 (1); Lilla Klintegårda 1989|>1036 (2+27); Frigsarve 1913|>1039 (1); Lübeck 1875|1040 (1); Stora Bjärs III 1949|>1055 (2); Sanda 1977|>1057 (2); Ulesie 1880|1065 (1); Johannishus 1866|>1120 (2); Kose 1982|>1121 (1)

Denarius/Huy (Dgs.98; de Ch.19; Dbg.231; Fr_H.15; Vh.G658) : *Schatvondsten* : Stale II 1934|>1036 (3); Swirjstroj I 1933|1040 (17); Lyssebäck 1886|>1042 (1); Lilla Klintegårda II 1876|>1050 (1); Dobrzyń 1910|1060 (1); Selse of Tørring 1822|1060 (1); Österby, Ekeby 1886|>1079 (1); Vichmjazsker 1934|1079 (1); Olustvere I 1978|>1080 (1); Sandegårda 1985|>1083 (1); Aru 1886|>1090 (1); Archangelsk 1989|1112 (1); Kose 1982|>1121 (1)

Denarius/Visé? (Dgs.99; Potin 13; Vichmjazsker 1467) : *Schatvondsten* : Vichmjazsker 1934|1079 (1)

Denarius/Thuin (Dgs.100; Dbg.263; Vh.F68) : *Schatvondsten* : Kolczyn Maly -|1030 (1); Ulesie 1880|1065 (1)

REGINARDUS - RÉGINARD (1025-1037) - KOENRAAD II, KEIZER - CONRAD II, ROI (1027-1039)



Aimé HAECK, *Middeleeuwse munten van de vroegere Belgische vorstendommen en heerlijkheden in vondsten 751-1433*, Dilbeek, 2012.

L'acquisition des données

Nous avons effectué l'acquisition des données par étapes successives :

1. scan des pages du livre ;
2. OCRisation du fichier pdf (avec le logiciel Abbyy FineReader) ;
3. extraction des informations du fichier texte (avec le logiciel R), possible grâce à leur structure uniforme :

2. Heerlijkheid Beaumont – Seigneurie de Beaumont

BOUDEWIJN VAN AVESNES – BAUDOUIIN D'AVESNES (1246-1288)

2/3 groot/Beaumont (Ch_H.189-190; Luc.208) : *Schatvondsten* : Saint-Georges-d'Annebecq ca.1932 | 1278-89 (1) ; Nijmegen 1964 | 1278-1300 (1) ; Alken 1969 | 1285 (1) ; Diest 1867 | 1285 (-) ; Saint-Omer 1838 | 1280-90 (1). *Losse vondsten* : Eemsmond 1998 (1). *Accumulatievondsten* : Menaldumadeel 1990-2006 (1) ; Sluis 1988-2001 (1)

4. nettoyage des informations extraites (avec le logiciel R) ;
5. géoréférencement des lieux extraits (avec l'api de www.geonames.org + ajustements manuels).

L'acquisition des données

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	source	target	seigneur	datation	type	vondsten	nombre	datationInf	datationSup	distance
2	_Herstal	Wijk-bij-Duurstede	Pepin le Bref (751-768)	#N/A	Denarius	Accumulatievond	1	#N/A	#N/A	147
3	_Herstal	Bonn	Pepin le Bref (751-768)	#N/A	Denarius	Losse vondsten	1	#N/A	#N/A	104
4	_Herstal	Liege	Pepin le Bref (751-768)	#N/A	Denarius	Losse vondsten	1	#N/A	#N/A	5
5	_Leuven	Imphy	Pepin le Bref (751-768)	768-794	Denarius	Schatvondsten	1	768	794	451
6	_Maastricht	Imphy	Pepin le Bref (751-768)	768-794	Denarius	Schatvondsten	1	768	794	470
7	_Maastricht	Imphy	Pepin le Bref (751-768)	768-794	Denarius	Schatvondsten	2	768	794	470
8	_Quentovic	Imphy	Pepin le Bref (751-768)	768-794	Denarius	Schatvondsten	3	768	794	418
9	_Quentovic	Ilanz	Pepin le Bref (751-768)	790-800	Denarius	Schatvondsten	1	790	800	698
10	_Valenciennes	Echternach	Pepin le Bref (751-768)	#N/A	Denarius	Losse vondsten	1	#N/A	#N/A	216
11	_Dinant	Gelderland	Charlemagne (768-794)	771-790	Denarius	Schatvondsten	1	771	790	204
12	_Dinant	Bel-Air	Charlemagne (768-794)	780-790	Denarius	Schatvondsten	1	780	790	377
13	_Dinant	Krinkberg	Charlemagne (768-794)	781-800	Denarius	Schatvondsten	1	781	800	523

A	B	C	D	E
Id	lat	lng	pays	type
_ 's Hertogen	50,86845	6,095051	NL	atelier
_Aachen	50,77664	6,08342	DE	atelier
_Aalst	50,93604	4,0355	BE	atelier
_Agimont	50,16421	4,79428	BE	atelier
_Aire-sur-la	50,63959	2,40006	FR	atelier
_Amiens	49,9	2,3	FR	atelier
_Anthisnes	50,48166	5,522526	BE	atelier
_Antwerpe	51,22047	4,40026	BE	atelier
_Arlon	49,68333	5,81667	BE	atelier
_Arras	50,29105	2,777221	FR	atelier

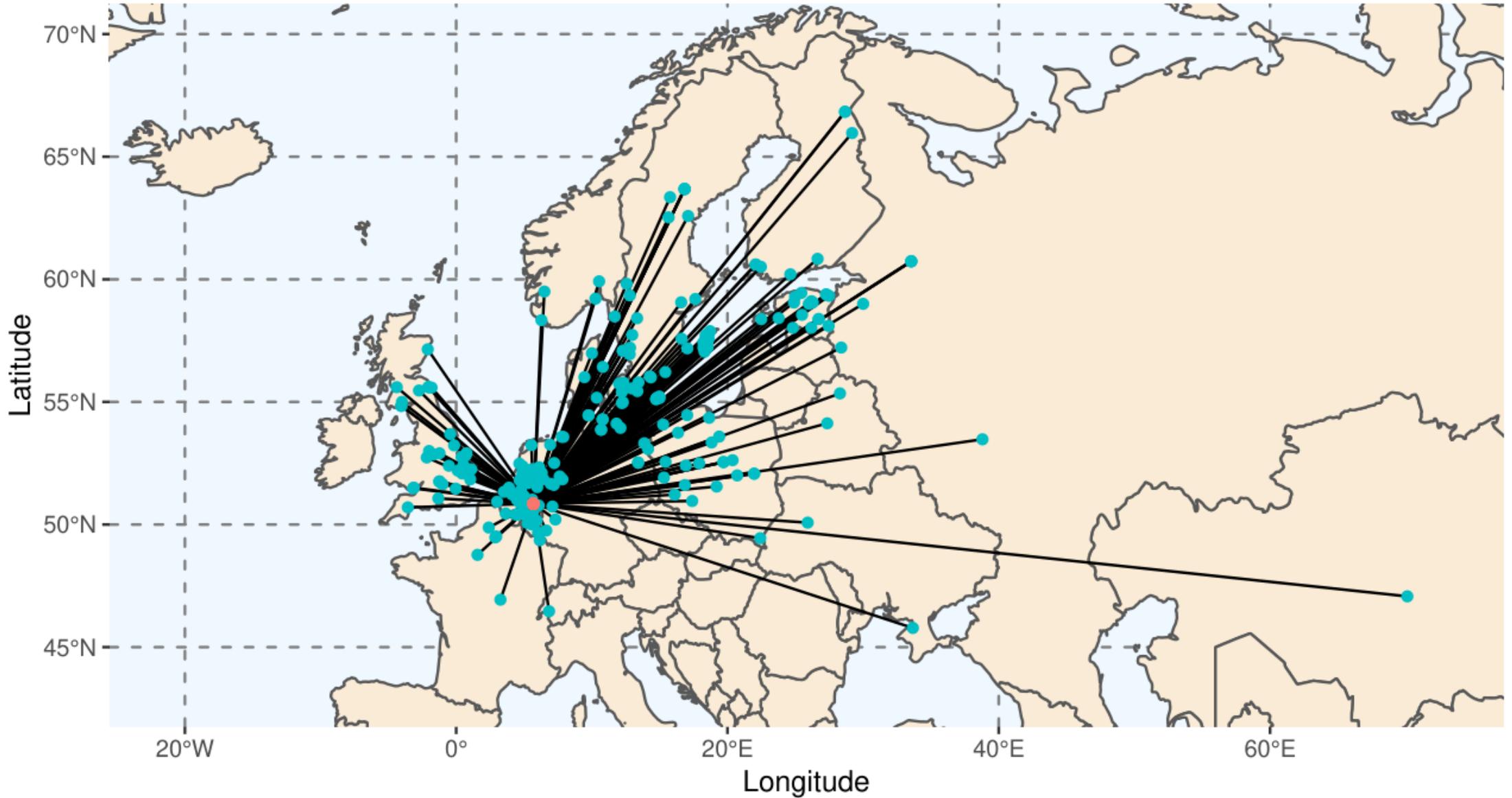
Les réseaux que nous considérons

Nous considérons trois types de réseaux différents :

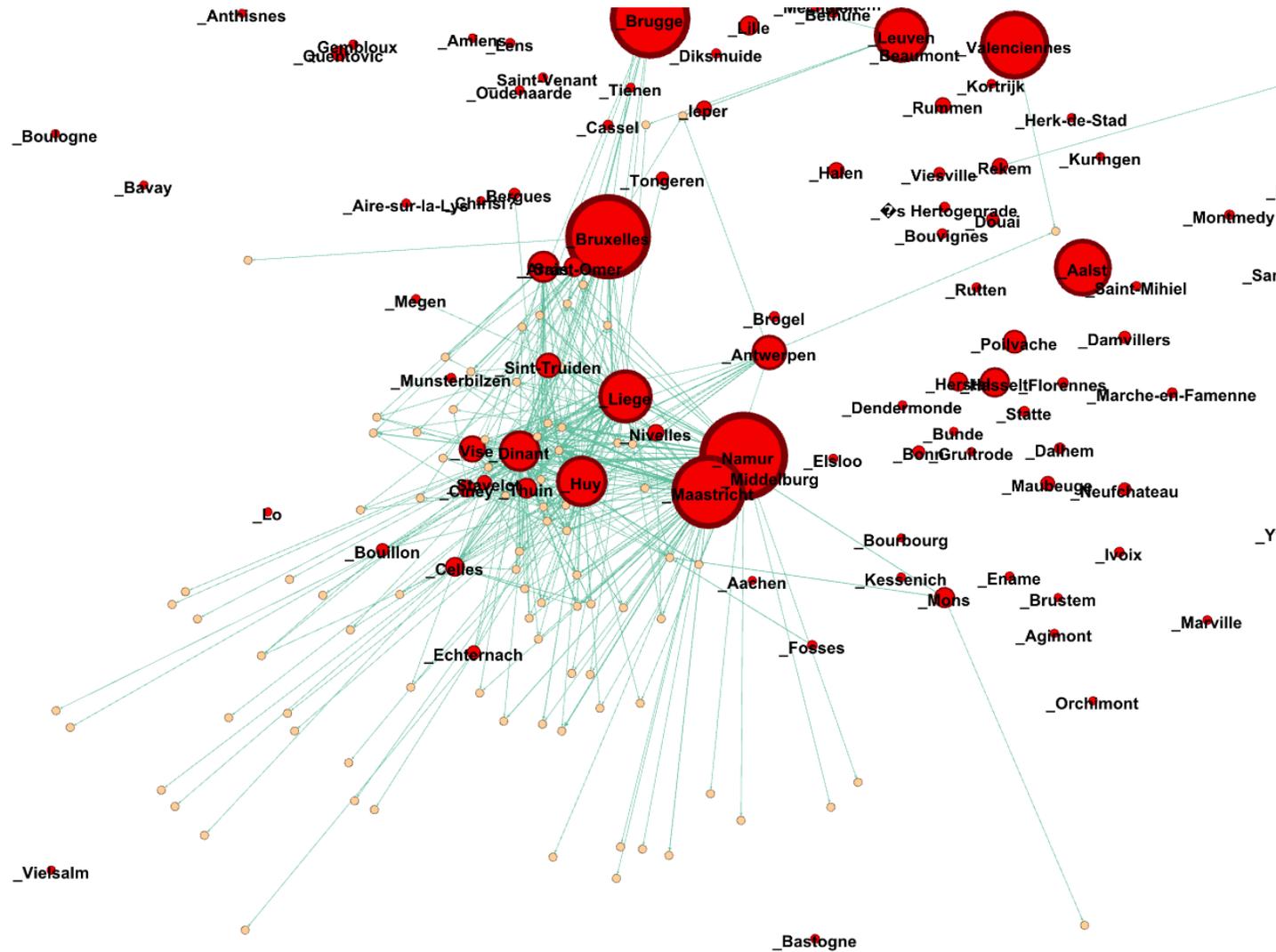
1. un réseau biparti, orienté et pondéré :
 - nœuds : ateliers monétaires et lieux de découvertes
 - arêtes : de la monnaie d'un atelier a été découverte dans un lieu
2. un réseau uniparti, non orienté et pondéré :
 - nœuds : ateliers monétaires
 - arêtes : les monnaies des ateliers ont été découvertes dans des mêmes lieux
3. un réseau uniparti, non orienté et pondéré :
 - nœuds : seigneurs
 - arêtes : les monnaies issues par les seigneurs ont été découvertes dans les mêmes lieux

Graphe géolocalisé

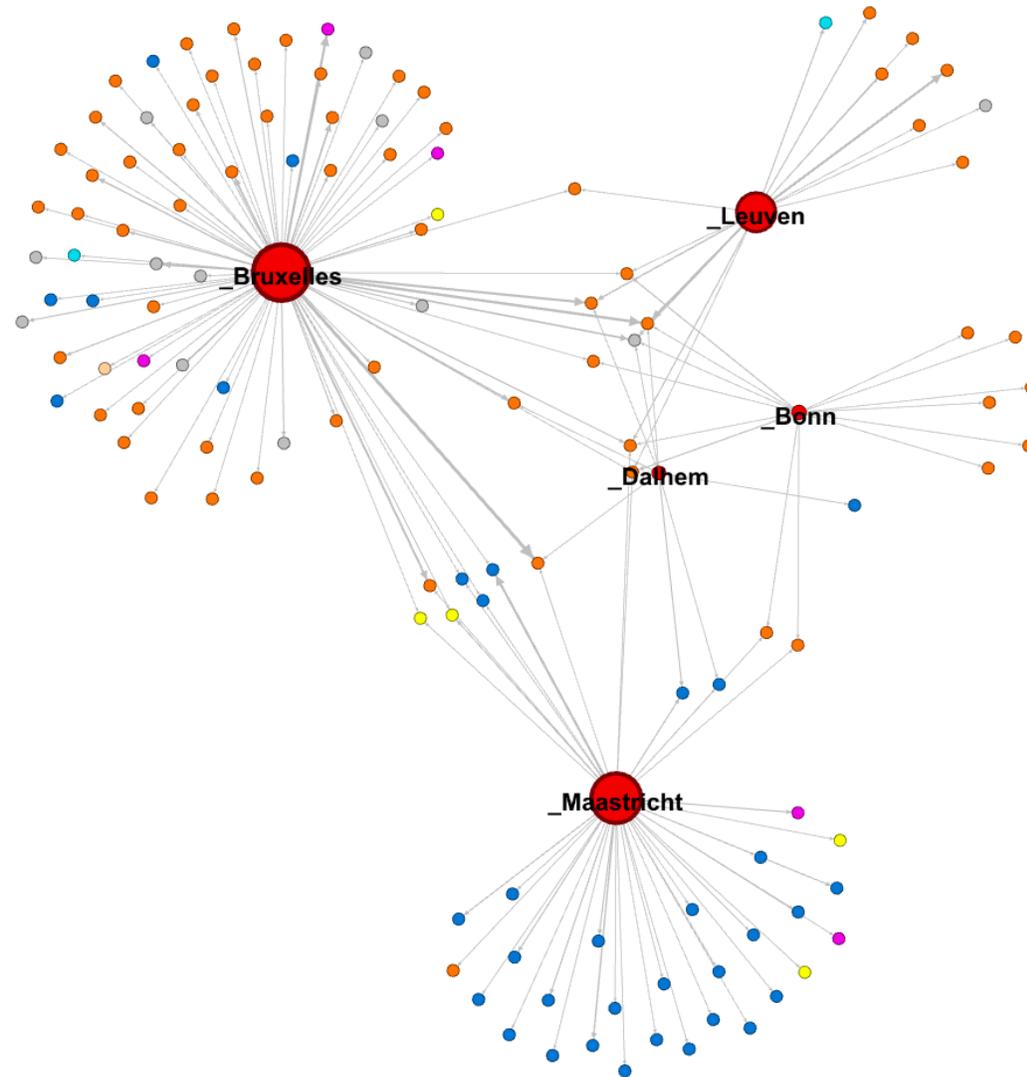
Maastricht (1290 trouvailles au total)



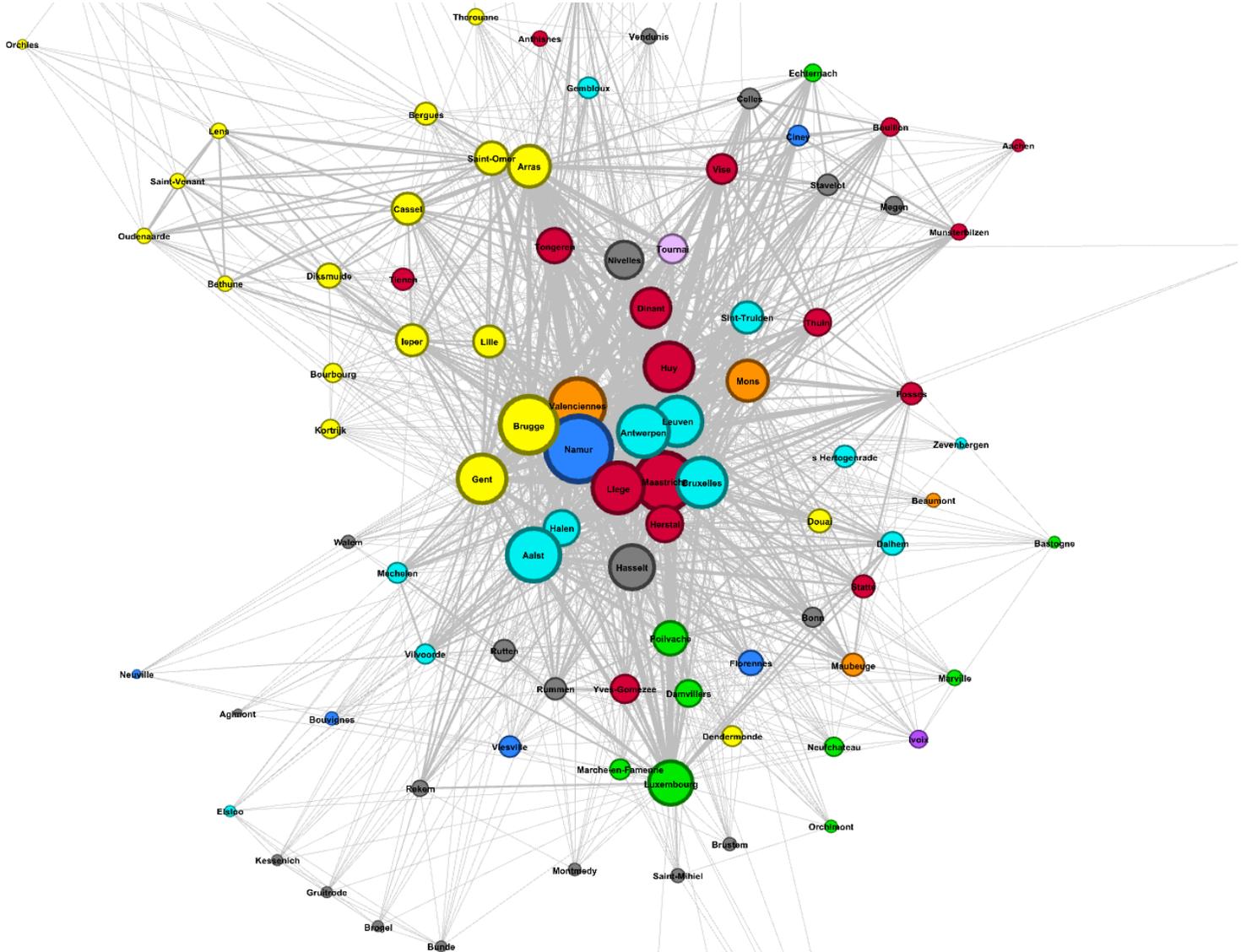
Présence d'une logique géographique dans le graphe : Europe de l'Est



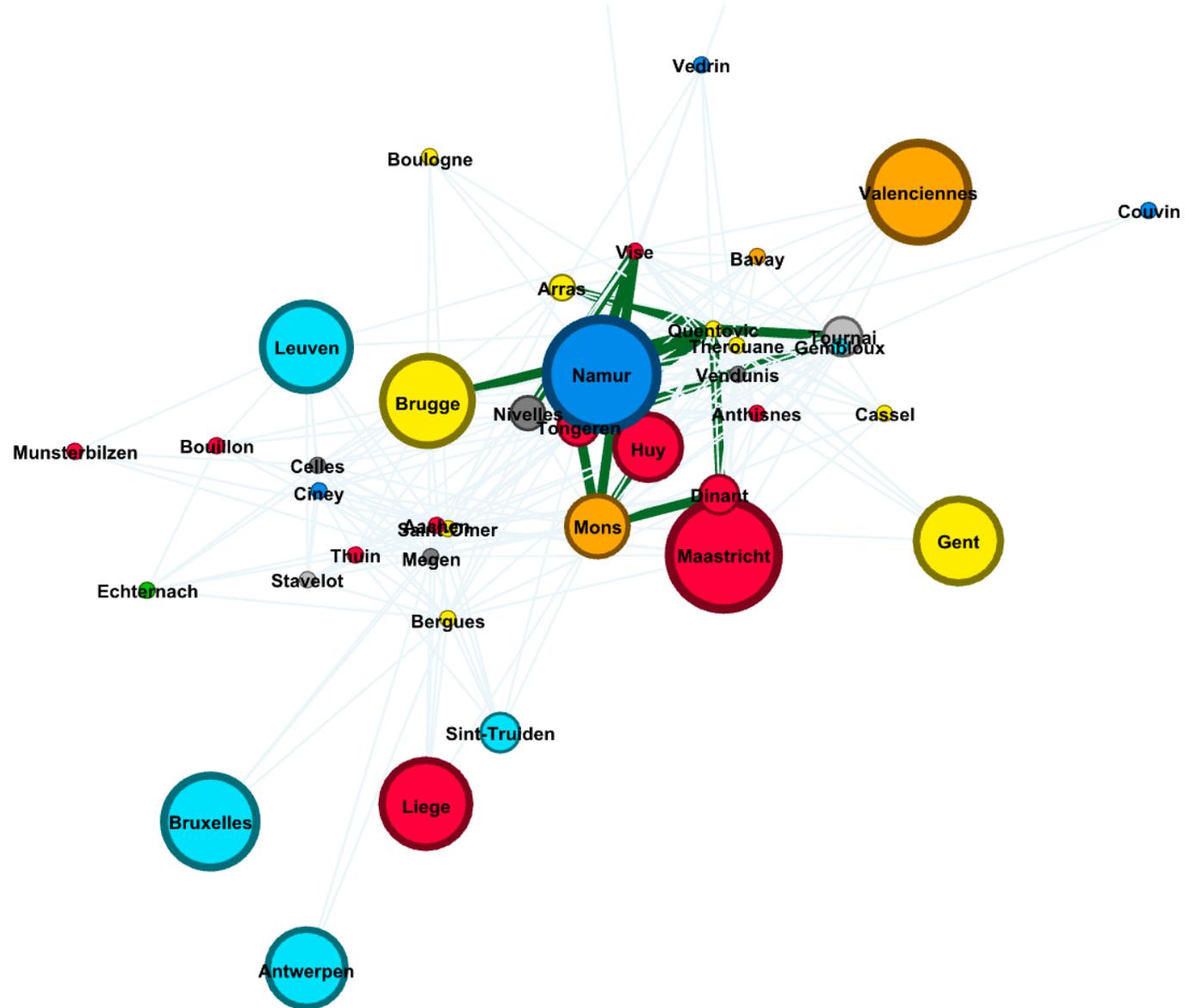
Analyse du monnayage de certains princes particuliers : Jean I^{er} de Brabant (1267-1294)



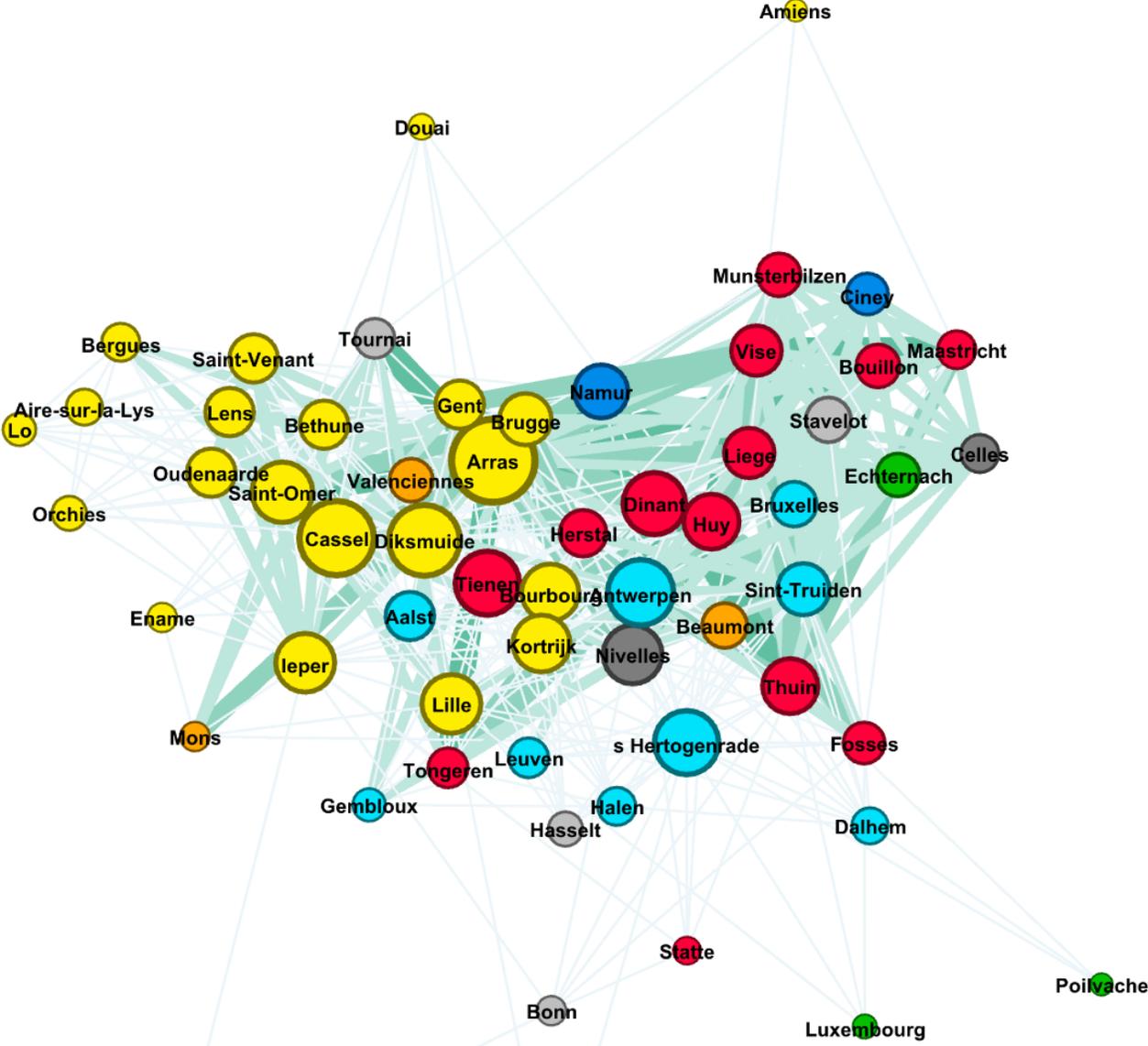
Ateliers monétaires et circulation monétaire



Haut Moyen Âge



Moyen Âge central



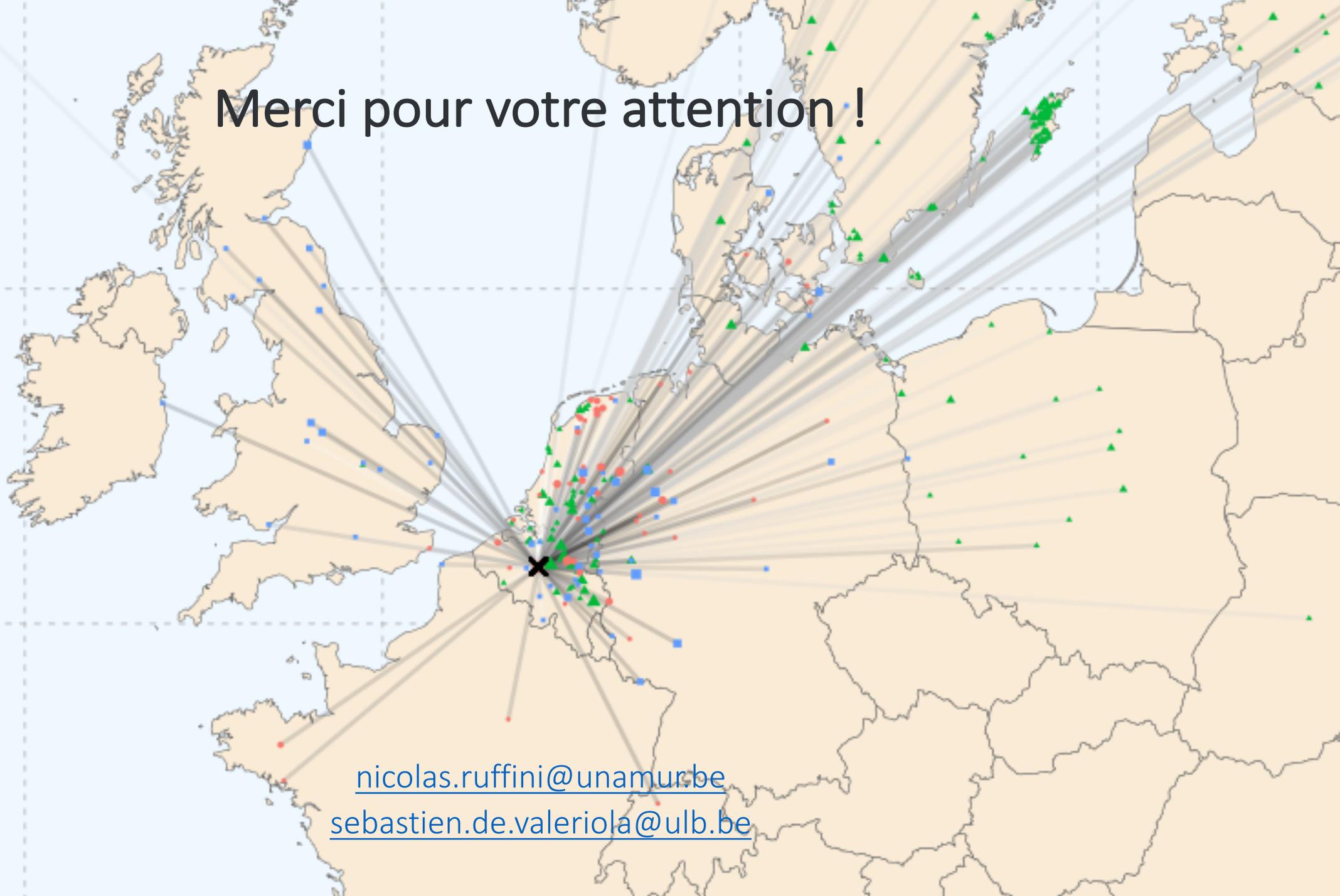
Densité de la circulation monétaire par période

Densité	
Haut Moyen Age	0,035
Moyen Âge central	0,231
Bas Moyen Âge	0,121

Densité de la circulation monétaire par période et par principauté

Density			
PRINCIPAUTE	HAUT MA	MA CENTRAL	BAS MA
Flandre	0,046	0,354	0,04
Brabant	—	0,162	0,295
Namur	—	0,028	0,222
Hainaut	—	0,048	0,143
Luxembourg	—	—	0,145
Liège	0,11	0,279	0,162

Merci pour votre attention !

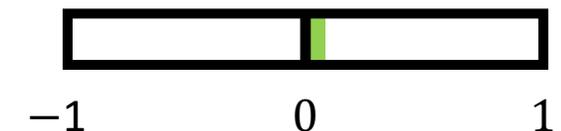
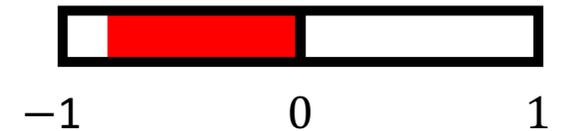
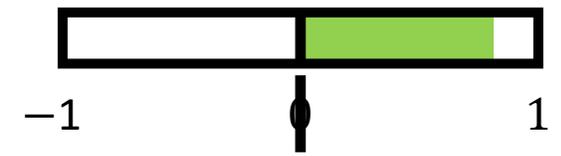
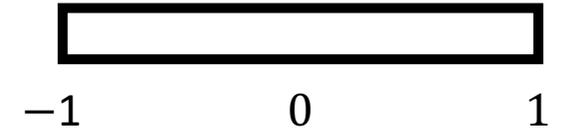


nicolas.ruffini@unamur.be
sebastien.de.valeriola@ulb.be

La notion d'« homophilie »

On peut voir cette métrique comme une mesure de « corrélation » des catégories avec elles-mêmes :

- le coefficient d'homophilie est toujours compris entre -1 et 1 ;
- lorsqu'il est positif, le réseau est homophile, et ses sommets ont tendance à être connectés avec d'autres sommets de la même catégorie ;
- au contraire, lorsqu'il est négatif, le réseau est dishomophile, et ses sommets ont tendance à être connectés avec des sommets d'autres catégories ;
- lorsqu'il est proche de zéro, le réseau est anhomophile, et les catégories n'exercent pas d'influence sur les relations entre les sommets.



Matrices d'adjacence

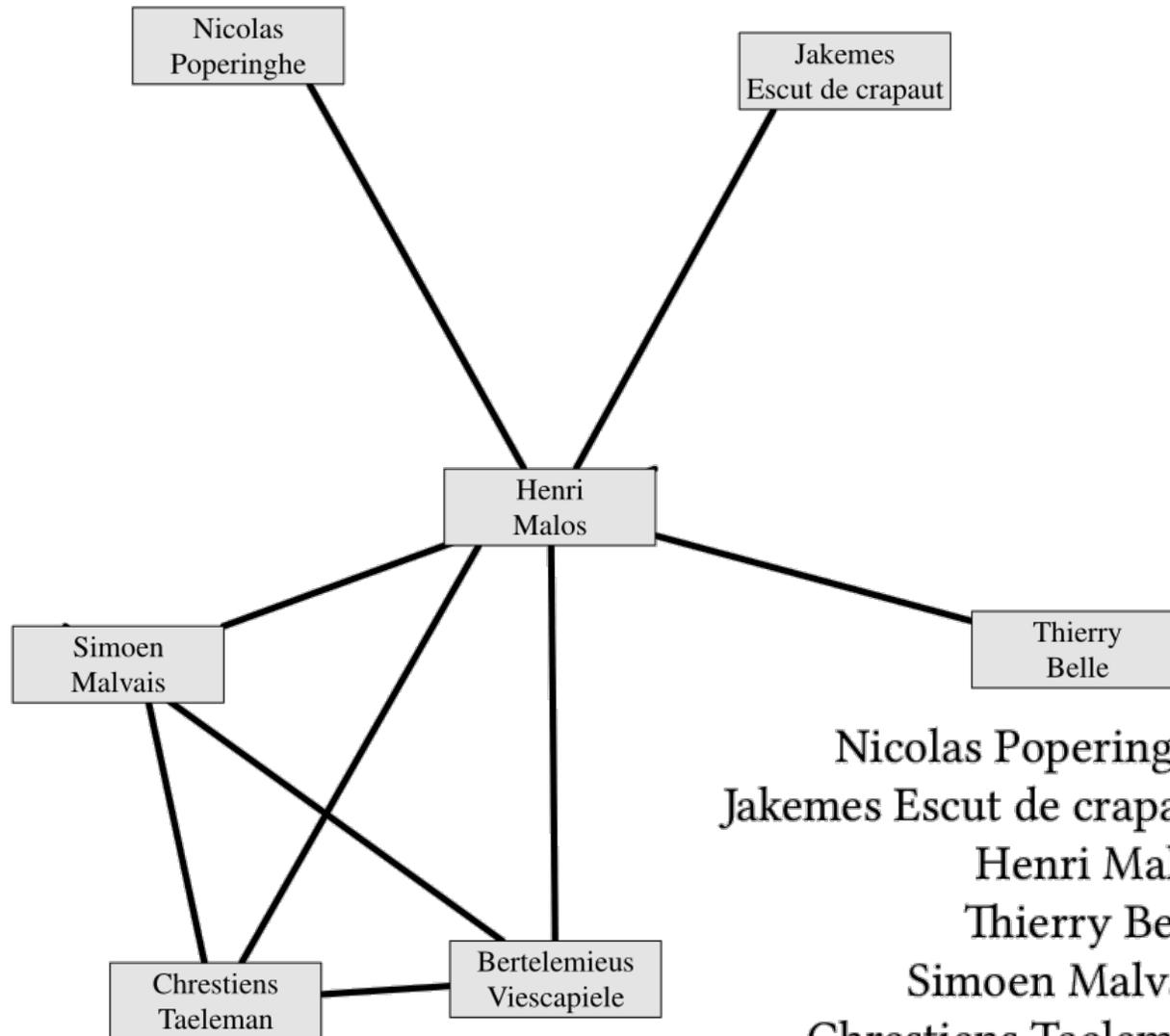
Les sommets et les arêtes d'un réseau constituent une structure mathématiquement pratique et efficace, mais trop complexe pour être manipulée telle quelle par un ordinateur.

Pour cette raison, on associe à chaque réseau une **matrice d'adjacence**.

Il s'agit d'un tableau carré ayant autant de lignes et de colonnes que le nombre total de sommets, et dont chacune des entrées vaut 1 si les sommets associés à la ligne et à la colonne de l'entrée sont connectés, ou 0 s'ils ne sont pas connectés :

$$\text{Matrice d'adjacence}_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{s'il existe une arête reliant les sommets } i \text{ et } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Exemple de matrice d'adjacence



	Nicolas Poperinghe	Jakemes Escut de crapaut	Henri Malos	Thierry Belle	Simoen Malvais	Chrestiens Taelleman	Berthelemieus Viescapiele
Nicolas Poperinghe	0	0	1	0	0	0	0
Jakemes Escut de crapaut	0	0	1	0	0	0	0
Henri Malos	1	1	0	1	1	1	1
Thierry Belle	0	0	1	0	0	0	0
Simoen Malvais	0	0	1	0	0	1	1
Chrestiens Taelleman	0	0	1	0	1	0	1
Berthelemieus Viescapiele	0	0	1	0	1	1	0

Intérêt de la représentation matricielle

L'existence d'une représentation matricielle de chaque réseau n'est pas anodine : elle ouvre la porte à une multitude d'outils disponibles dans diverses branches des mathématiques.

0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	0

Par exemple, certaines techniques permettent de repérer des sous-matrices particulières, comme celle qui est visible dans la matrice d'adjacence donnée en exemple.

Le sous-réseau correspondant possède en effet une caractéristique particulière, facilement observable dans ce modeste cas particulier, mais sans doute beaucoup plus difficile à reconnaître pour des réseaux plus importants : tous les sommets sont connectés à tous les autres (on parle d'une **clique**).

