



Synthétiser un corpus de carte mentales

Cartographe des représentations spatiales de manière agrégée



ISSN 2743-8791 - Rzone.fr - Revue de méthodes pour les SHS

Camille Dabestani Géographie-cités, Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Jean Makhlouta Géographie-cités, Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Elina Marveaux Géographie-cités, CNRS

Hugues Pecout Géographie-cités, CNRS

Date de publication : 5 mars 2026

Résumé

L'article décrit une méthode reproductible pour synthétiser des corpus de cartes mentales en sciences humaines et sociales. Conçue pour dépasser l'interprétation qualitative des dessins individuels, elle formalise une chaîne de traitement complète : les cartes mentales converties en données géographiques sont agrégées sur une grille régulière pour mesurer la densité ou le recouvrement des tracés sur une même matrice. À partir de ces agrégations, des cartes de chaleur et des isolignes sont générées afin de visualiser des tendances collectives dans les représentations spatiales. Cette méthode, applicable dans différents contextes et terrains d'enquête, fournit un cadre standardisé facilitant la comparaison entre corpus variés et combinant éléments qualitatifs des dessins avec des mesures objectives et reproductibles utiles à l'analyse en SHS.

Keywords : carte mentale, carte de chaleur, isoligne, régionalisation

Table des matières

Introduction	3
1 Prérequis	4
1.1 Du dessin à l'information géographique	4
1.2 Carte de chaleur?	4
1.3 Packages nécessaires	6
2 Présentation des données	7
2.1 Deux corpus de cartes	7
2.2 Deux fonds de cartes	8
2.3 Description corpus	9
2.3.1 Corpus A : cartes mentales intra-urbaine	9
2.4 Carte n°1	10
2.5 Carte n°14	11
2.6 Carte n°24	12
2.7 Carte n°34	13
2.8 Carte n°56	14
2.8.1 Corpus B : cartes mentales régionales	15
3 Création d'une grille	19

4	Aggrégation des cartes	22
4.1	Intersection spatiale	22
4.1.1	A. Intersection carroyage - polylignes	22
4.1.2	B. Intersection grille de points - polygones	24
4.2	Cumul pondéré	25
4.3	Normalisation (%)	26
4.4	A. Sur Carroyage	26
4.5	A. Sur grille régulière de points	27
5	Carte synthétique	28
5.1	A. Rendu graphique sur un carroyage	29
5.2	B. Rendu graphique sur une grille de points	29
5.3	Interpolation spatiale	30
5.4	Discrétisation	30
5.5	Création d'isolignes	32
5.6	A. Création d'isolignes (limites de quartiers)	32
5.7	B. Création d'isolignes (emprises de régions)	32
5.8	A. Délimitation de quartiers à Beyrouth	33
5.9	B. Délimitation de la macro-région 'Caraïbes'	35
6	Comparaison de corpus	36
6.1	Une grille unique...	37
6.2	...Pour deux cartes	37
6.3	Pour les étudiants français	37
6.4	Pour les étudiants allemands	39
6.5	Carte différentielle	41
	Conclusion	43
	Bibliographie	43
	Annexes	44

Liste des Figures

1	Exemple de digitalisation des cartes mentales collectées sur papier VOIR AVEC JEAN. Source : Makhoul J., 2025	4
2	Exemple de <i>Calendar heatmap</i> . Source : https://insights.datylon.com	5
3	Surface air temperature anomaly for January 2026 relative to the January average for the period 1991-2020. Data source : ERA5. Credit : C3S/ECMWF. Source : https://climate.copernicus.eu	6
4	Processus d'aggrégation des cartes mentales en carte de chaleur. Auteur : Pecout H., 2025	7
5	Utilisation d'un carroyage ou d'une grille régulière de points en fonction de la géométrie à intersecter. Auteur : Pecout H., 2025	20
6	Intersection des carreaux et des points avec les régions des limites ou surfaces dessinées. Auteur : Pecout H., 2025	22
7	Construction d'isolignes pour les valeurs 10, 20, 30, 40 et 50, à partir des centroïdes du carroyage. Auteur : Pecout H., 2025	31

Liste des Tables

Introduction

En sciences humaines et sociales, l'utilisation des cartes mentales et sensibles est fréquente dans les dispositifs méthodologiques des recherches sur les représentations et les pratiques de l'espace. Initiée par des travaux en psychologie (Gould et White, 1974) et en architecture (Lynch, 1960), les cartes mentales visent à appréhender « représentations subjectives, à travers un langage graphique (le dessin) d'une réalité spatiale par un individu ou un groupe d'individus » (Tourelle, 2016).

Qu'il s'agisse de *sketch maps*, portant sur les représentations spatiales individuelles à partir d'une feuille blanche (Battersby et Montello, 2009 ; Pinheiro, 1998 ; Saarinen, 1988), de cartes cognitives, relatives à des connaissances spatiales non cartographiées (Dias et Ramadier, 2017) ou de cartes interprétatives, analysant les rapports entre espace réel et espace interprété (Didelon et al., 2011), les cartes mentales sont un outil d'enquête riche et foisonnant. Elles permettent d'accéder aux représentations de l'espace tel qu'il est vu, imaginé et construit en fonction du vécu, des expériences et de l'ancrage social d'individus ou de collectifs (Cauvin, 1984 ; Michel, 2018).

Toutefois, cet intérêt méthodologique présente de limites importantes en raison de la grande richesse des cartes produites, tant sur le plan de la restitution que dans l'interprétation des résultats. En effet, la collecte d'un grand nombre de cartes, si elle est nécessaire pour renseigner un objet et un espace donnés, rend leur appréhension d'ensemble délicat. Par ailleurs, leur caractère fortement subjectif demeure difficile à « objectiver » et fait ainsi courir le risque d'enfermer les représentations produites dans un exercice de cartographie normé, susceptible de ne pas restituer pleinement la subjectivité et le flou inhérents aux représentations individuelles et collectives de l'espace (Quesnot, 2024).

C'est ce à quoi s'intéresse cet article : comment représenter des cartes mentales de manière synthétique et objectivée ? Autrement dit, comment représenter et cartographier un ensemble d'objets flous, subjectifs et complexes ?

L'objectif est ainsi de porter une proposition méthodologique de cartographie synthétique de cartes mentales réalisées dans le cadre de deux enquêtes menées à des échelles variées et pour des intérêts cartographiques différents.

- La première a été élaborée par Jean Makhlouta (2025) dans le cadre de sa recherche doctorale sur les mobilités et les stratégies spatiales des minorités sexuelles et de genre à Beyrouth. Il y interroge notamment, au moyen de 84 cartes mentales, les représentations que ces populations se font de la ville et de ses quartiers. L'enjeu est d'accéder à une géographie émotionnelle de Beyrouth afin de mieux comprendre le rapport de ces populations à l'espace urbain, encore peu enquêté, et d'envisager la ville selon leurs perceptions négatives et positives des lieux.
- La seconde enquête mobilisée a été réalisée au sein de l'ANR-DFG Imageun (« *In the Mirror of the European Neighbourhood (Policy) : Mapping Macro-Regional Imaginations* ») et de la recherche doctorale de Camille Dabestani (2025) sur les représentations et les appropriations étudiantes des imaginaires macrorégionaux en contexte postcolonial, et plus spécifiquement en Martinique et en Guadeloupe. Cette enquête numérique a permis la collecte de milliers de cartes mentales sur des découpages du monde imaginés par des étudiants répartis dans 5 pays (Allemagne, France, Irlande, Tunisie et Turquie).

À partir de ces deux enquêtes, le présent article propose de revenir sur l'usage des cartes mentales et les modalités de leur représentation synthétisée. Il s'agit d'abord de présenter la collecte des cartes, puis leur traitement respectif sous R en vue de leur agrégation et de leur représentation sous forme de carte de chaleur, avant d'en discuter les éléments d'interprétation et les éventuelles limites.

1 Prérequis

1.1 Du dessin à l'information géographique

Pour réaliser la chaîne de traitement présenté, il est indispensable que les “dessins” collectés soient géoréférencés¹ et digitalisés. Cela revient à positionner correctement les cartes mentales dans l'espace en leur assignant des coordonnées géographiques précises, puis à les numériser pour les transformer en données géographiques vectorielles (lignes ou polygones), manipulables et exploitables.



FIGURE 1 : Exemple de digitalisation des cartes mentales collectées sur papier VOIR AVEC JEAN.
Source : Makhlouta J., 2025

Ainsi, les cartes mentales, représentant des surfaces ou des contours de territoires, sont converties en information géographique manipulable et cartographiable. Ce travail de géoréférencement et de digitalisation (Figure 1) a par exemple été réalisé pour le premier corpus de cartes mentales utilisé dans cet article (cf. [partie 2.2](#)).

1.2 Carte de chaleur?

La carte de chaleur (ou carte thermique, carte de fréquentation, ou encore *heatmap*) est une représentation graphique de données statistiques qui permet de représenter l'intensité d'une variable par un dégradé de couleur, dans un espace à deux dimensions (matrice).

Cette méthode de représentation en deux dimensions (Figure 2) peut ainsi être appliquée à une image (matrice de pixel) géoréférencée dans l'espace (image matricielle ou *raster*²). Elle est très souvent utilisée pour représenter des données géographiques issues de la télédétection³, comme

1. Le géoréférencement est un processus permettant d'attribuer à une image numérique à dimension spatiale (image satellite, plan, etc.) des coordonnées géographiques, en lui appliquant une transformation.

2. Le modèle de données *raster* se compose d'une matrice de pixels arrangés en lignes et colonnes pour ainsi former une grille, un raster (en français : image matricielle) permet de représenter, avec une relative précision, un ensemble d'informations. Les rasters peuvent avoir plusieurs origines, photographies aériennes numériques ou encore images satellites et numériques. (source : Esri France, 2025)

3. La télédétection regroupe toutes les opérations systématiques et automatisées de traitement et d'interprétation des photographies aériennes et des images satellites. Contrairement à la photo-interprétation qui est réalisée par des humains, elle met en œuvre des procédés technologiques, autrefois analogiques et aujourd'hui numériques, pour transformer l'image en données géolocalisées, notamment en couches exploitables dans les systèmes d'information géographique. (source :

Mount Rainier temperature in 2015

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1	29°	23°	18°	10°	30°	33°	54°	56°	32°	39°	17°	18°
2	22°	19°	12°	12°	31°	26°	52°	53°	22°	36°	17°	24°
3	23°	18°	21°	9°	26°	29°	55°	47°	20°	32°	13°	21°
4	21°	19°	27°	10°	24°	34°	55°	41°	21°	43°	17°	12°
5	29°	24°	29°	8°	12°	39°	48°	37°	25°	48°	18°	16°
6	37°	22°	31°	12°	15°	48°	45°	41°	29°	41°	29°	17°
7	38°	21°	32°	15°	25°	53°	49°	42°	35°	35°	24°	22°
8	36°	20°	34°	16°	28°	52°	47°	37°	44°	40°	15°	26°
9	31°	21°	33°	16°	31°	49°	49°	37°	47°	38°	14°	14°
10	23°	22°	30°	16°	32°	49°	47°	39°	53°	28°	18°	12°
11	15°	23°	22°	7°	27°	46°	41°	46°	52°	27°	12°	9°
12	20°	31°	26°	14°	24°	40°	33°	51°	52°	37°	18°	11°
13	29°	33°	31°	14°	25°	31°	32°	50°	43°	41°	24°	8°
14	33°	26°	24°	7°	26°	33°	38°	40°	23°	46°	24°	8°
15	21°	30°	20°	27°	31°	36°	40°	42°	20°	46°	13°	15°
16	18°	34°	18°	32°	31°	39°	39°	41°	22°	46°	11°	12°
17	23°	39°	18°	31°	29°	40°	38°	47°	26°	38°	20°	19°
18	13°	34°	24°	32°	29°	33°	43°	49°	35°	32°	11°	10°
19	12°	21°	27°	33°	31°	32°	50°	51°	40°	34°	18°	6°
20	17°	20°	23°	33°	32°	35°	49°	51°	38°	40°	23°	7°
21	25°	12°	14°	28°	34°	34°	42°	43°	37°	35°	31°	8°
22	26°	21°	15°	25°	33°	31°	39°	44°	35°	32°	31°	4°
23	28°	30°	11°	19°	36°	38°	39°	45°	31°	30°	22°	3°
24	35°	30°	14°	9°	36°	39°	40°	43°	36°	27°	13°	3°
25	38°	25°	28°	11°	33°	49°	29°	42°	32°	25°	15°	3°
26	33°	19°	35°	22°	32°	54°	27°	42°	27°	28°	20°	18°
27	28°	12°	29°	32°	34°	55°	33°	41°	35°	36°	26°	14°
28	23°	12°	19°	29°	38°	55°	41°	36°	38°	24°	26°	9°
29	25°		26°	20°	37°	49°	46°	31°	40°	23°	27°	7°
30	28°		27°	32°	40°	48°	49°	32°	39°	27°	22°	15°
31	28°		11°		39°		53°			24°		19°

Data source: <https://www.nwac.us>

FIGURE 2 : Exemple de *Calendar heatmap*. Source : <https://insights.datylon.com>

les températures (Figure 3), les précipitations ou l'altitude. Dans ce cas, les deux dimensions de la matrice (longitude et latitude) permettent de localiser l'intensité d'un phénomène.

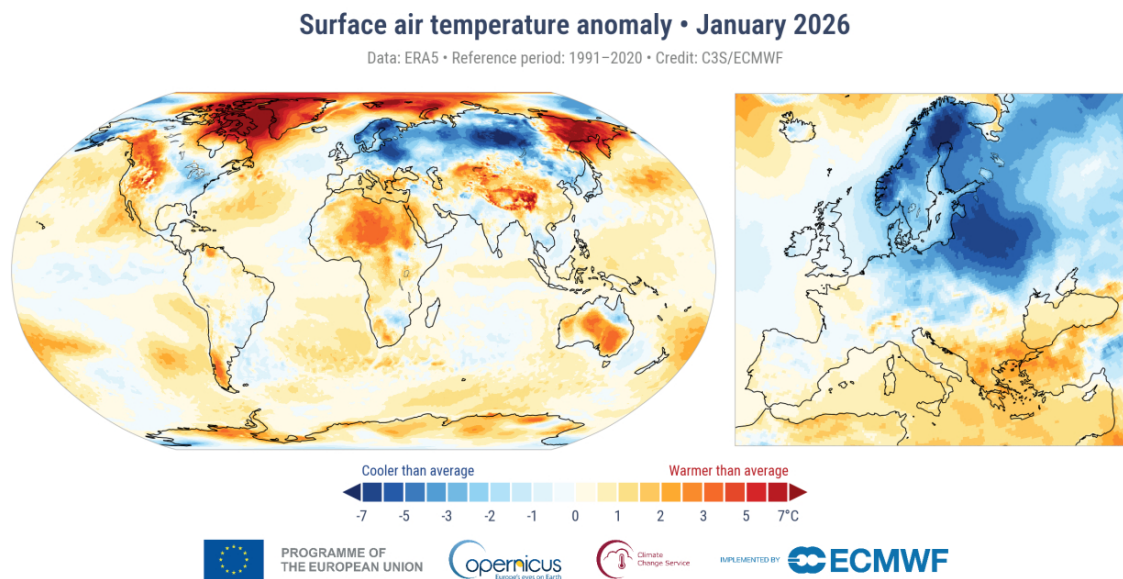


FIGURE 3 : Surface air temperature anomaly for January 2026 relative to the January average for the period 1991-2020. Data source : ERA5. Credit : C3S/ECMWF. Source : <https://climate.copernicus.eu>

L'utilisation de la variable visuelle valeur et/ou couleur (Bertin, 1967) qui se traduit par l'utilisation d'un dégradé d'intensité de couleur permet d'identifier facilement les zones de forte intensité et d'interpréter l'organisation spatiale du phénomène étudié.

Cet article a ainsi pour objectif de démontrer l'efficacité de cette méthode de représentation cartographique pour analyser un ensemble de cartes mentales de manière aggrégée, et permettre une interprétation globale et quantifiée des "dessins" collectés auprès d'un groupe d'individus. La construction de carte de chaleur à partir de corpus de carte mentales est décomposée en trois grandes étapes (Figure 4) :

1. Création d'une grille régulière, comme maillage de référence (cf. [partie 3](#)).
2. Cumul (comptage) des polygones dessinés dans la grille régulière (cf. [partie 4](#)).
3. Simplification de la représentation graphique matricielle en isolignes (cf. [partie 5](#)).

1.3 Packages nécessaires

Pour réaliser la chaîne de traitement présentée, vous devez installer les packages suivants :

- `sf` pour la manipulation de données géographiques vectorielles (Pebesma, 2018)
- `geodata` pour télécharger des fonds de carte (Hijmans, 2025)
- `mapsf` pour la construction de cartes thématiques (T. Giraud, 2024)
- `mapiso` pour la création d'isobandes (T. Giraud, 2023)

```
library(sf)          # Manipulation données géographiques
library(geodata)     # Téléchargement d'un fond de carte "monde"
```

Géoconfluences, 2025)

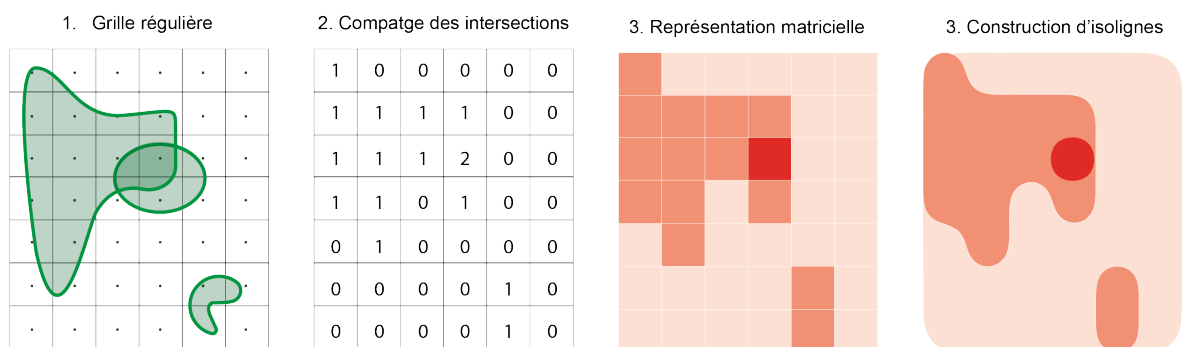


FIGURE 4 : Processus d'aggrégation des cartes mentales en carte de chaleur. Auteur : Pecout H., 2025

```
library(mapsf) # Cartographie
library(mapiso) # Création d'isobandes
```

2 Présentation des données

Pour cette démonstration, deux jeux de données issues d'enquêtes et contenant des cartes mentales interprétatives sont utilisés. Pour assurer leur partage et leur réutilisation, ces deux jeux de données ont été anonymisés.

L'intégralité des données nécessaires à la reproductibilité de la chaîne de traitement est mise à disposition. **Pour les télécharger, cliquez sur l'icône suivant :**



2.1 Deux corpus de cartes

Si les cartes mentales interprétatives de ces deux bases de données présentent de fortes similitudes, elles présentent néanmoins des différences importantes, notamment dans le processus de collecte :

	1. Corpus de cartes mentales "locales"
Type d'enquête	Entretien , collecte supervisée
Questionnement par carte mentale ?	Délimitations et représentations positives et négatives de qu
Outil de collecte	Saisie sur papier - Cartographie sur un fond de carte avec uni
Echelle de saisie	Intra-urbaine
Nombre d'enquêtés	80
Nombre de surfaces dessinées (polygones collectés)	402

Néanmoins, nous allons utiliser la même méthode de représentation cartographique, la carte de chaleur, pour permettre des interprétations globales et quantifiées de ces deux corpus de cartes contextualisées et détaillées dans les parties suivantes.

2.2 Deux fonds de cartes

Pour la mise en page des cartes de chaleur, nous utiliserons deux fonds de carte différents :

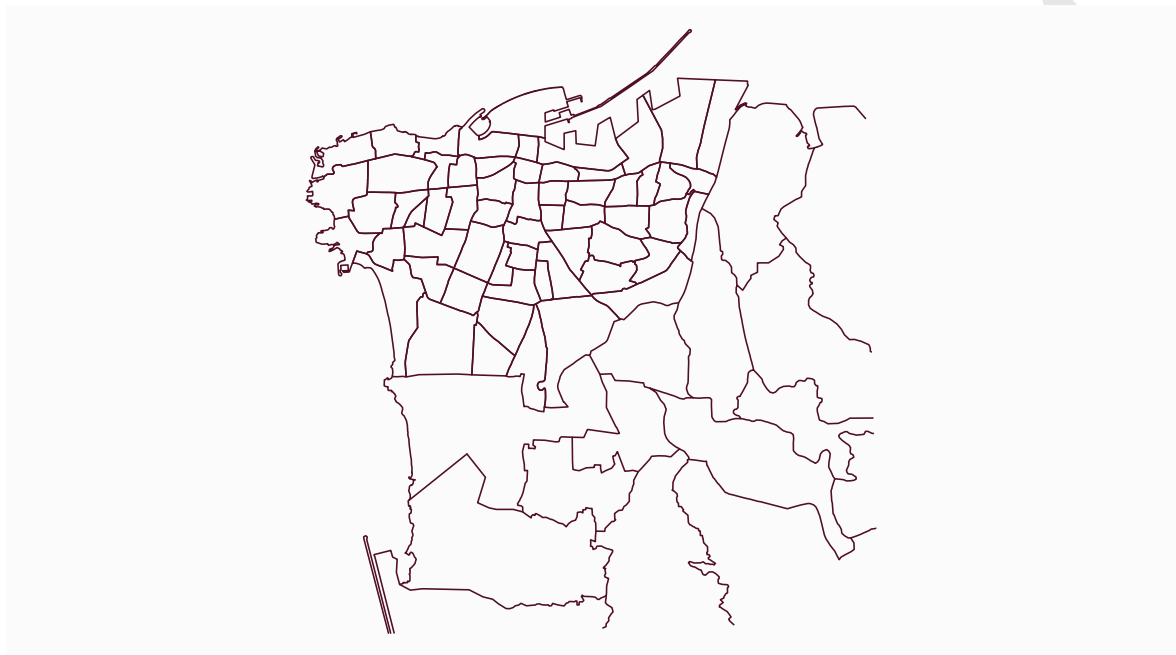
A. Un fond de carte des quartiers de Beyrouth

B. Un fond de carte des pays du monde

2.2.0.1 A. Quartiers de Beyrouth

```
# Import des données
beyrouth <- st_read(dsn = "data/beyrouth.gpkg", layer="quartier", quiet = TRUE)

# Affichage
mf_map(beyrouth)
```

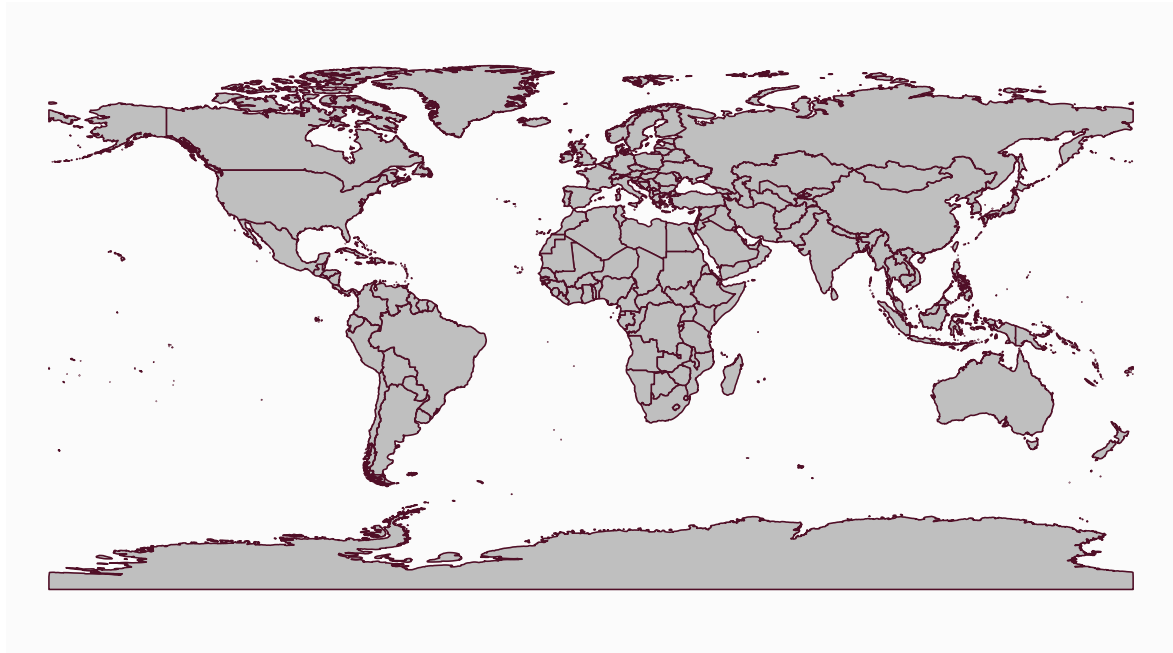


Source : Farah, 2011 ; Beirut Urban Lab, 2021 ; Makhoul, 2025 et Marveaux, 2026 ?

2.2.0.2 B. Pays du Monde

```
# Téléchargement du fond de carte
world <- st_as_sf(world(resolution=5, level=0, path="data/world"))

# Affichage
mf_map(world)
```



```
# Reprojection en Pseudo-Mercator
world <- st_transform(world, crs = "EPSG:3857")
```

Source : <https://gadm.org>, via le package geodata (Hijmans (2025))

2.3 Description corpus

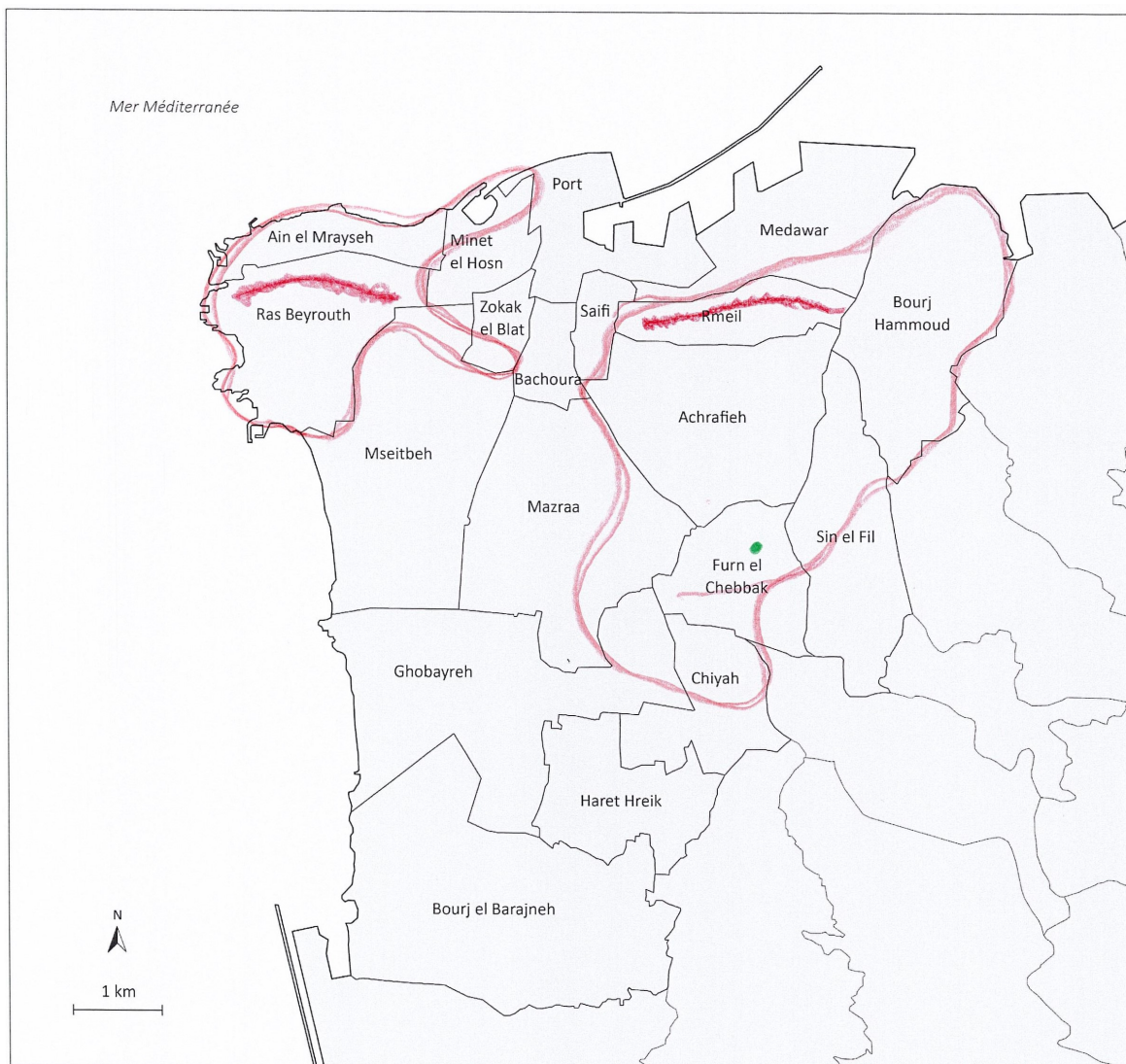
2.3.1 Corpus A : cartes mentales intra-urbaine

Pour la première enquête menée à l'échelle de Beyrouth, le corpus de cartes mentales se compose de 84 cartes recueillies sur place entre 2022 et 2023. Celles-ci ont été réalisées sur un fond de carte de Beyrouth indiquant les noms des quartiers retenus pour l'enquête ainsi que leurs limites administratives. Ce fond de carte incluait l'ensemble des quartiers de Beyrouth municipal, autrement dit intramuros, ainsi que des quartiers situés dans les banlieues est et sud.

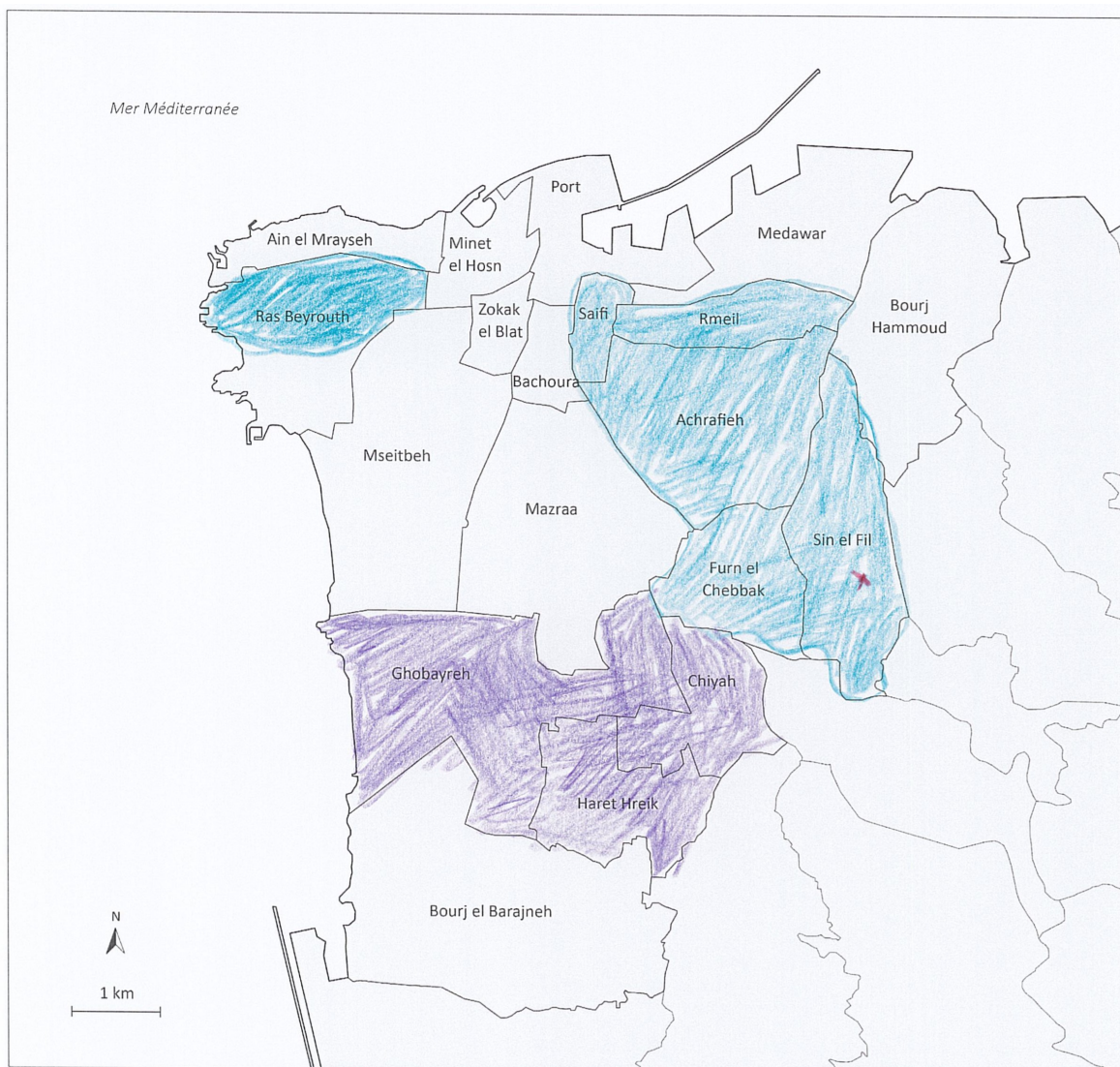
Les participant·es étaient invité·es à réaliser une carte mentale au début d'un entretien semi-directif qui constituait le socle de la recherche. L'entretien s'ouvrait sur la consigne suivante : « Entourez les quartiers où l'expression de votre genre ou de votre sexualité est possible. Entourez, avec une autre couleur, ceux où c'est interdit ». Des crayons de couleur étaient mis à disposition pour l'exercice et le choix des couleurs était entièrement laissé aux participant·es. Les tracés ainsi dessinés donnent à voir une délimitation de la ville fondée sur leurs ressentis et leurs expériences spatiales.

Exemples de cartes mentales collectées :

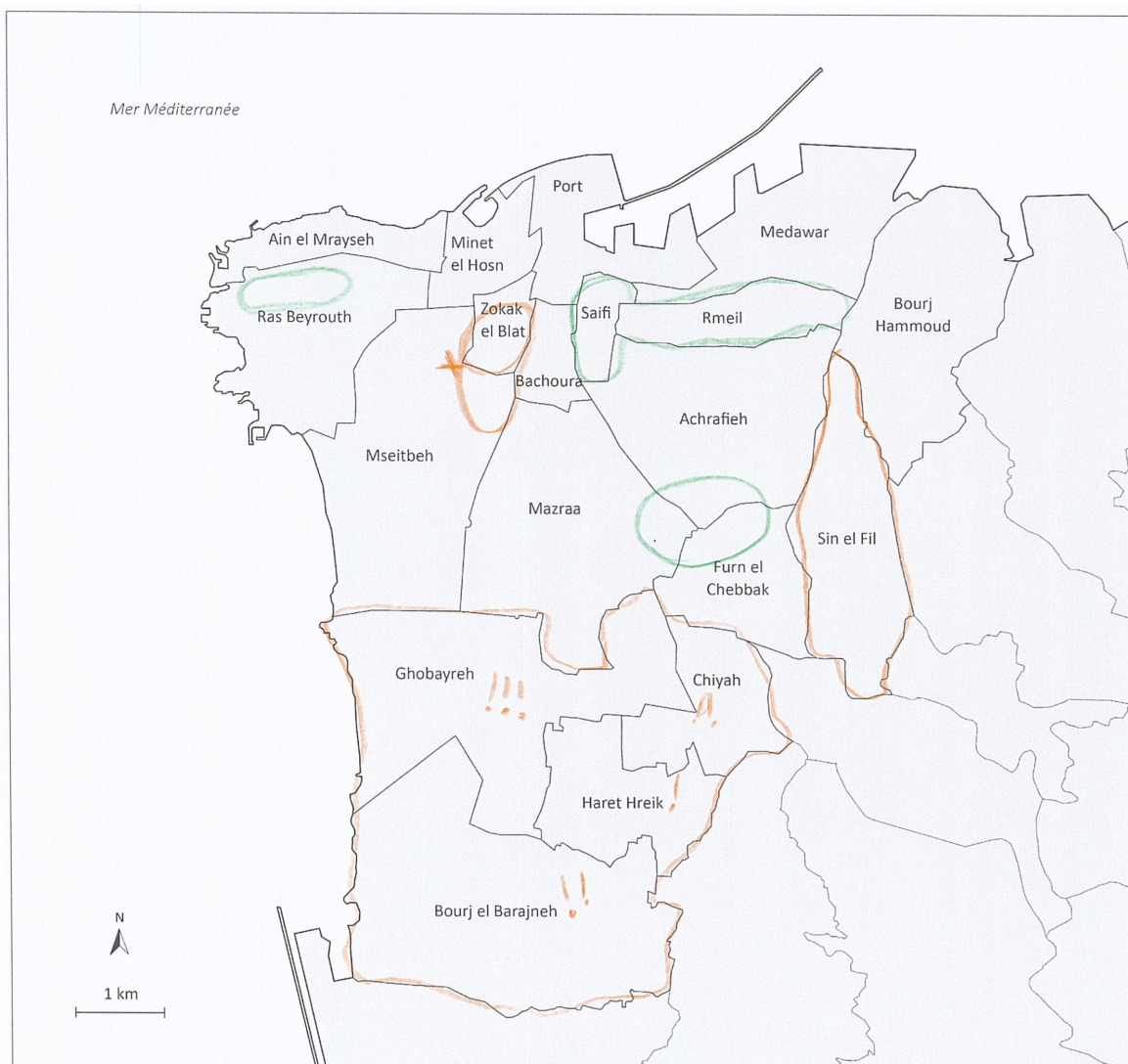
2.4 Carte n°1



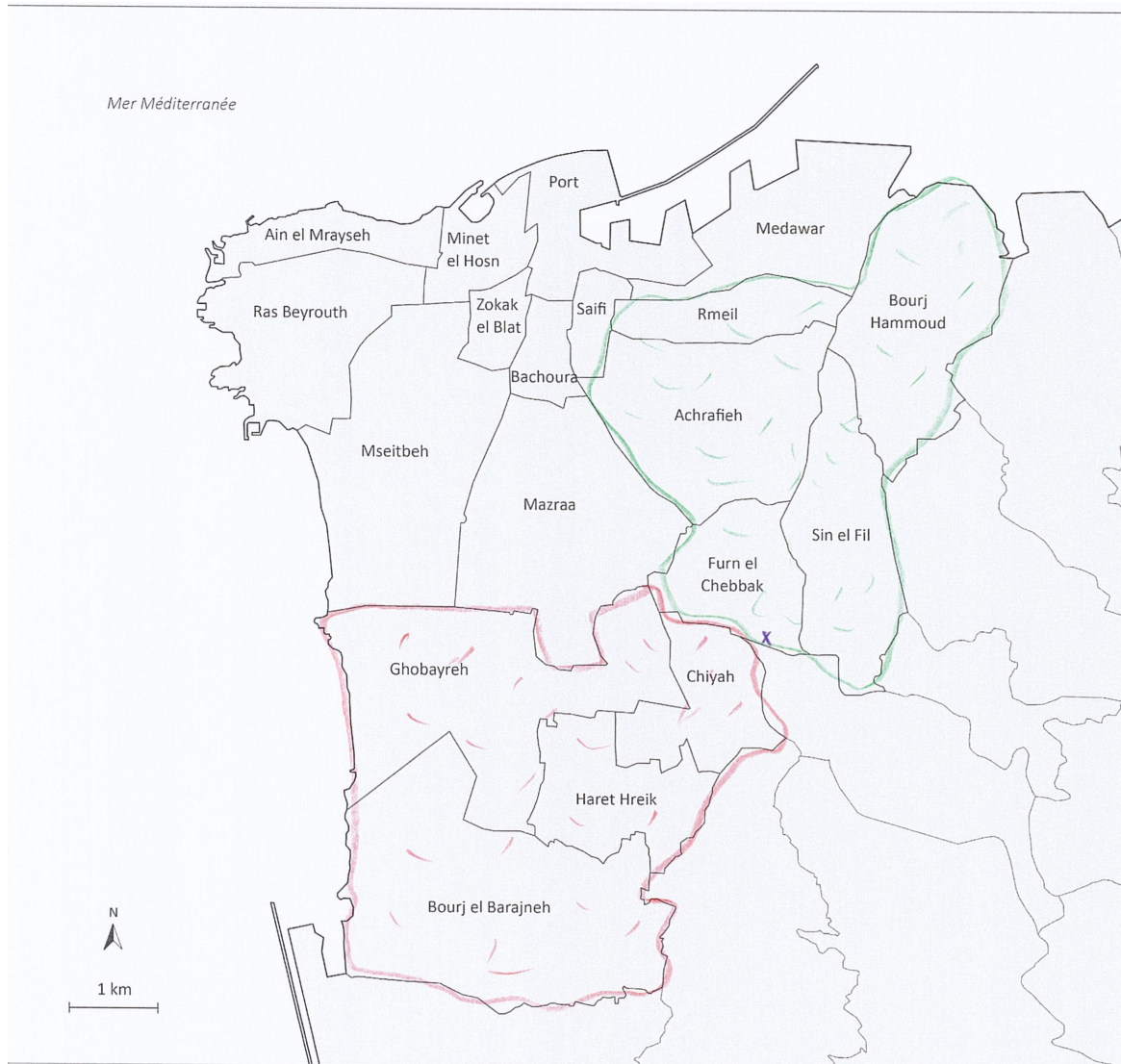
2.5 Carte n°14



2.6 Carte n°24



2.7 Carte n°34



2.8 Carte n°56



Les cartes ont ensuite été scannées puis géoréférencées sous QGIS (Figure 1). Les tracés réalisés par les participant-es ont été vectorisés sous forme de polygones et associés à plusieurs attributs, dont la qualification positive ou négative des espaces entourés. Le tableau et les cartes présentés ci-dessous rendent compte de la restitution et de la synthèse de ces informations sous QGIS.

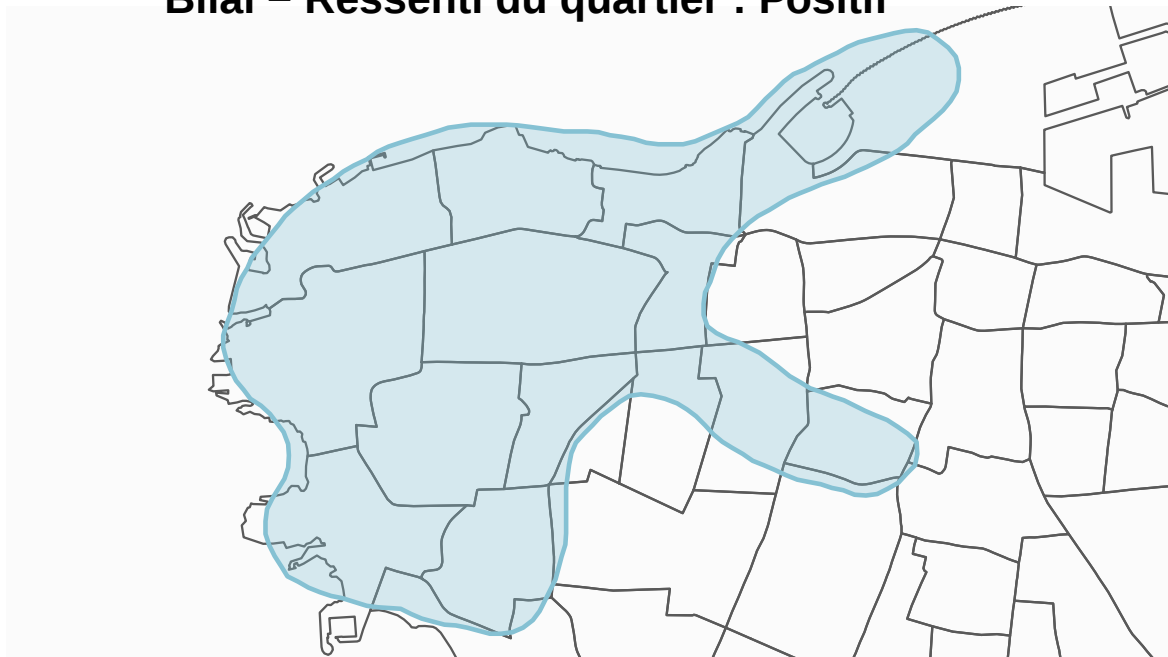
Les géométries des cartes mentales délimitant des quartiers à Beyrouth sont mis à disposition dans un fichier *geopackage* que vous pouvez importer avec la fonction `st_read()` du package `sf`.

```
mentals_maps_beyrouth <- st_read(dsn = "data/Couche Polygones.gpkg", quiet = TRUE)
```

La table attributaire des délimitations dessinées comporte plusieurs variables :

2.8.0.1 Exemple de délimitation digitalisé

Bilal – Ressenti du quartier : Positif



2.8.0.2 Ensemble des délimitations collectées



2.8.1 Corpus B : cartes mentales régionales

La seconde enquête par carte mentale que nous mobilisons dans cet article est celle créée dans le cadre du volet « *Student Survey* » de l'ANR-DFG Imageun (Marveaux et al., 2025). L'objectif de ce projet est d'analyser ce qu'on appelle les imaginaires macrorégionaux des étudiant-es, soit les

pratiques, les représentations et les discours portés sur des ensembles géographiques entre l'échelle de l'État et l'échelle mondiale. Ces imaginaires sont appréhendés comme des objets construits de manière descendante par les institutions, les décideurs politiques ou encore par les médias, mais aussi vécus, questionnés et réappropriés de manière ascendante par les individus et les collectifs, ici les étudiant-es.

Le projet s'intéresse plus particulièrement aux rapports entre les macrorégions « Europe » et « UE » et les ensembles macrorégionaux en jeu dans les imaginaires des cinq pays enquêtés – l'Allemagne, la France, l'Irlande, la Tunisie et la Turquie – en tant que chacun a un positionnement bien spécifique vis-à-vis de ces entités géographiques, politiques et institutionnelles :

- La France hexagonale et l'Allemagne font partie de l'UE comme entité institutionnelle et de l'Europe comme espace géographique et politique continental.
- État membre de l'UE et situé dans l'espace européen, l'Irlande permet de questionner le rapport de l'UE et de l'Europe aux espaces non continentaux, mais aussi le contexte géopolitique du Brexit depuis le regard irlandais.
- L'enquête intègre les départements et régions dits d' « Outre-mer » français de la Caraïbe, ici la Guadeloupe et la Martinique. Les deux territoires ont le statut de « RUP » ou « Région ultrapériphérique » de l'UE, défini pour caractériser les territoires ayant été colonisés par les anciens empires européens et intégrés aux États actuels. Sous le concept d' « ultrapériphéricité » associé à des contraintes géographiques (éloignement du continent européen, insularité, taille des îles, climat, etc.), mais surtout aux rapports politiques postcoloniaux d'un centre définissant et représentant des périphéries. La Martinique et la Guadeloupe permettent ainsi d'analyser les rapports distants à l'Europe et à l'UE et les réappropriations d'autres imaginaires macrorégionaux comme vecteur d'émancipation politique, à l'image de la Caraïbe (Dabestani, 2025 ; M. Giraud, 2004).
- En tant qu'États non membres et souvent représentés en dehors de l'espace géographique européen, la Tunisie et la Turquie permettent d'analyser deux rapports différents à l'UE et à l'Europe et des projections géopolitiques plurielles (Afrique du Nord, Méditerranée, Afrique, Asie centrale, Eurasie, Moyen-Orient ou encore rapports à un « Global South ») (Rigg, 2007). Ils donnent à voir les reconfigurations des rapports politiques au prisme des soulèvements populaires ou encore les évolutions rapides des rapports de force et stratégies internationaux.

Le volet « *Student Survey* » du projet a deux objectifs. Le premier est d'analyser les manières dont les étudiant-es pratiquent et représentent les macrorégions qui leur sont associées ou qu'ils et elles revendiquent : comment les étudiant-es mobilisent-ils, refusent-ils ou repensent-ils les imaginaires géographiques qu'on leur associe ?

En tant que producteurs des imaginaires de demain, ils et elles forment un groupe à l'intersection de plusieurs sphères institutionnelles, à la fois comme objet politique prisé et au cœur d'injonctions et d'inégalités plurielles (Cordazzo, 2019). Même s'ils et elles constituent un groupe socialement situé au sein des jeunes des différents pays enquêtés, il faut souligner la grande hétérogénéité au sein de ce groupe dans un même contexte national, mais également entre eux. Le second objectif est méthodologique. Dans la mesure où l'enquête devait être réalisée dans le contexte pandémique du Covid-19, le cahier des charges a nécessité des ajustements quant à la mise en place du dispositif d'enquête. Ainsi, cette enquête avait aussi pour but d'interroger les manières d'appréhender et d'objectiver des objets géographiques flous et subjectifs à l'aide d'un questionnaire portant un exercice de carte mentale numérique.

L'enquête prend donc la forme d'un questionnaire cartographique en ligne. Il se divise en sept parties visant à appréhender les imaginaires macrorégionaux dans une approche socio-constructiviste : des questions de cadrage socio-démographique sur l'étudiant-e, les pratiques linguistiques, les mobilités réalisées et souhaitées, la représentation cartographique de leurs macrorégions (carte mentale), les pratiques médiatiques, les pratiques culturelles, les représentations de l'Europe et de l'UE et les questions de cadrage socio-démographique sur les parents et tuteurs des étudiant-es⁴.

La diffusion du questionnaire, non supervisée, a eu lieu entre novembre 2021 et juin 2022. Les étudiant-es peuvent répondre sur PC, tablette ou sur smartphone et sélectionner au départ la langue de visualisation et de réponse parmi les cinq langues de traduction du questionnaire : allemand, anglais, darija⁵, français, turc. Le questionnaire est auto-administré et dure entre 10 à 25 minutes si l'enquêté-e répond à toutes les questions malgré les questions de tri visant à réduire la durée du questionnaire⁶.

La collecte a été effectuée avec l'outil d'enquête Maptionnaire. Cette application de SIG participatif a été créée par une équipe de chercheuses et de professionnelles de l'aménagement pour répondre à des besoins de cartographie collaborative, avec le soutien de l'institut de recherche Nordregio⁷ (Kahila et Kyttä, 2009). Elle permet ainsi de présenter des questions standards du format de questionnaire (choix uniques, choix multiples, ouverts, etc.) et des questions cartographiques, permettant de placer des points, de tracer des lignes ou de polygones « comme avec un crayon » sur un fond de carte adaptatif OpenStreetMap dans lequel les étudiant-es peuvent circuler comme sur une interface de navigation GPS quotidienne. L'avantage permis par cette interface adaptative – où les frontières, les limites administratives et les toponymes s'affichent – était de fournir un fond de carte ne mettant pas les étudiant-es dans la posture de réponse à un test de connaissances.

La question de carte mentale a un statut central dans cette enquête. Elle permet d'inviter les étudiant-es à tracer les régions du monde dans lesquelles ils et elles se trouvent au moment de l'enquête (un à cinq espaces). Après chaque tracé, une fenêtre pop-up permet de nommer l'espace représenté.

Les données sont collectées sous la forme de deux fichiers : le premier (*survey.csv*) contient les réponses aux questions dites « standards » codées de différentes manières (brut, booléens, etc.), et le second, au format *geopackage*, intègre les géométries des cartes mentales tracées (*geometries.gpkg*).

Ces géométries ont nécessité plusieurs étapes de traitement : le nettoyage, la construction et la réparation des géométries. L'étape du nettoyage s'effectue à l'échelle des répondant-es et permet de trier les réponses incomplètes (données a ou carte mentale manquante), de recoder et de créer certaines variables utiles pour les analyses et dans la démarche d'anonymisation. Les deux étapes suivantes concernent les géométries. Il s'agit de construire les géométries à partir du format wkt, puis de contrôler et catégoriser les géométries (classification des relations entre les géométries d'une même réponse⁸, contrôle de la qualité des tracés, classification des dénominations associées aux géométries⁹). Pour les géométries identifiées comme invalides, certaines nécessitent une dernière étape de réparation (problèmes de fermetures des géométries, fusion entre deux géométries ou encore sorties de la projection [**nom?**]). L'ensemble de ces traitements permet d'obtenir 2744 géométries

4. Pour la présentation détaillée de l'enquête, voir l'article publié dans la revue DEMC : <https://demc-journal.org/articles/revue-3/4077-studying-geographical-imaginaries-with-numeric-mental-maps>.

5. Langues vernaculaires dérivées de l'arabe, parlées en Tunisie, au Maroc et en Algérie.

6. Pour plus de précisions sur le mode de collecte, les établissements enquêtés, la composition des sous-groupes autant pour les enjeux que pour les limites qu'elles posent, le datapaper en cours de publication dans la revue DEMC développe et interroge ces derniers points.

7. *Nordic research institute for regional development and planning*

8. Les géométries sont associées à quatre catégories en fonction des relations spatiales avec les autres entités : région unique, régions emboîtées, régions multiples et régions intersectées.

9. Harmonisation orthographique des dénominations et traduction dans les deux langues de travail du projet (français et anglais).

tracées par 2030 réponses pour l'ensemble des pays d'enquête.

Pour importer la couche géographique contenant les cartes mentales, nous utilisons le package `sf` et sa fonction `st_read()`.

```
mentals_maps_macro_reg <- st_read(dsn = "data/geometries.gpkg",  
                                  layer = "mental_maps", quiet = TRUE)
```

La table attributaire des délimitations dessinées comporte plusieurs variables :

Pour cette article nous ne mobiliserons qu'une partie des cartes mentales de la base de données IMAGEUN. Nous proposons de cartographier uniquement les macro-régions dessinées nommées 'Caraïbes' par les étudiant-es. Nous commençons donc par sélectionner les géométries concernées :

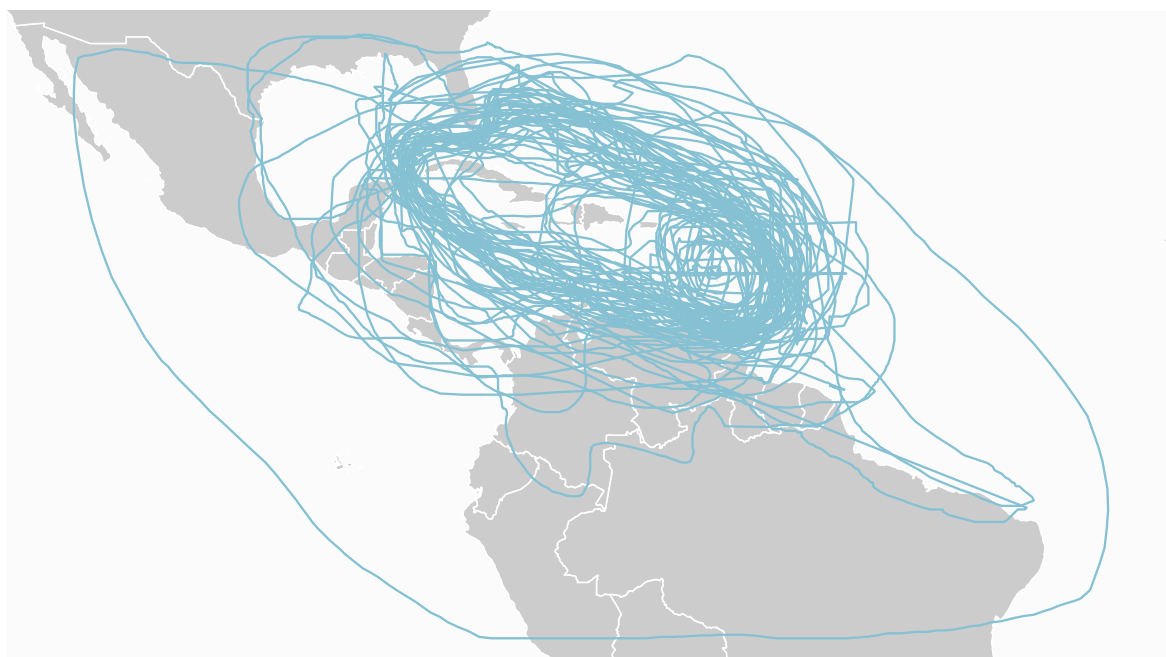
```
mentals_maps_macro <- subset(mentals_maps_macro_reg,  
                             E1903_map_rgname_concept_fr %in% c("Caraïbes"))
```

2.8.1.1 Exemple de région délimitée

Répondant N° 2si67yr6fzk7 – Carte N° GEOM357



2.8.1.2 Ensemble des régions nommées 'Caraïbes'



Cela représente 79 cartes mentales (surface ou polygones) collectées.

L'intégralité de la base de données finale, après traitement sur les géométries et pseudonymisation, est mise à disposition sous licence OdbL sur l'entrepôt Nakala : <https://nakala.fr/10.34847/nkl.9b2elyum> (Marveaux et al., 2024b). Elle est accompagnée d'un site de présentation et de prise en main « pas à pas » de la base (Marveaux et al., 2024a).

3 Création d'une grille

Les différentes zones dessinées par les répondant·es peuvent facilement être agrégées (ou cumulées) en utilisant une grille régulière (ou carroyage).

Deux types de représentation sont proposés dans cet article :

- A. **Cumul des délimitations** des zones dessinées (**polylignes**)
- B. **Cumul des surfaces** dessinées (**polygones**)

Dans les deux cas, la méthode d'agrégation reste similaire. Les surfaces (polygones) ou les périmètres (polylignes) sont intersectés avec un carroyage. De cette opération résulte une grille régulière où la valeur de chaque carreau/points est égale au nombre d'intersections détectées (pondérées ou non). Cela permet de résumer la densité des cartes mentales pour chaque unité d'un maillage régulier.

Pour réaliser cette opération, deux types de grille régulière peuvent être utilisés (Figure 5) :

- A. Une **grille régulière de carreaux** à intersecter avec des polylignes (délimitation)
- B. Une **grille régulière de points** à intersecter avec des polygones (surface)

Choix de la résolution de la grille

La résolution (ou finesse) de la grille construite conditionne directement la précision et la fidélité de la carte de chaleur produite. Une maille large lisse l'information et masque les hétérogénéités

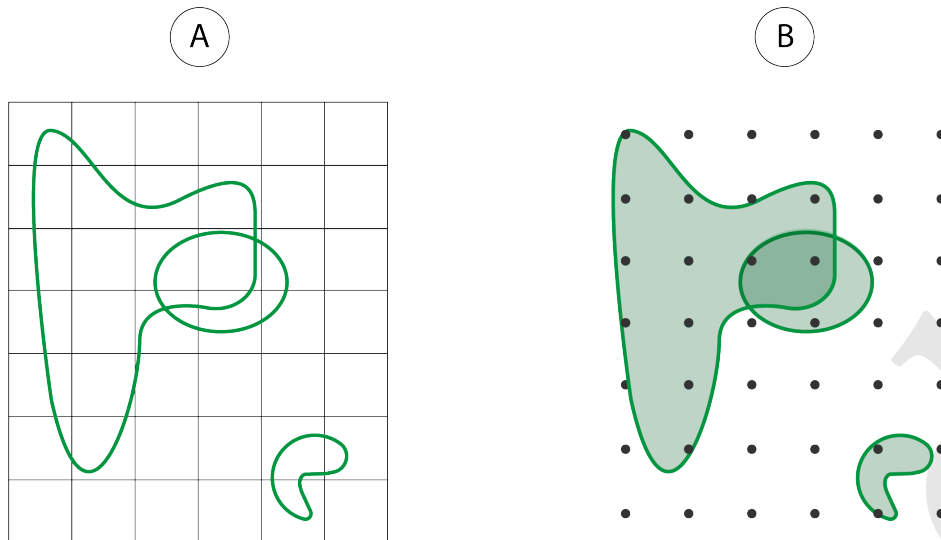


FIGURE 5 : Utilisation d'un carroyage ou d'une grille régulière de points en fonction de la géométrie à intersecter. Auteur : Pecout H., 2025

locales; une maille fine préserve davantage les détails mais peut introduire du bruit. La résolution a également un impact sur les temps de calcul et l'utilisation de la mémoire vive de votre ordinateur. Le choix de la finesse de la grille implique donc un compromis entre lisibilité, conservation de l'information et puissance de votre machine.

3.0.0.1 A. Construction d'un carroyage

La fonction `st_make_grid()` du package `sf` permet de construire une grille régulière vectorielle. Ainsi, nous construisons un carroyage de 100x100m qui recouvre la totalité de l'emprise spatiale des cartes mentales délimitant des quartiers de Beyrouth.

```
# Récupération de l'emprise géographique de cartes mentales collectées
emprise <- st_bbox(mentals_maps_beyrouth)

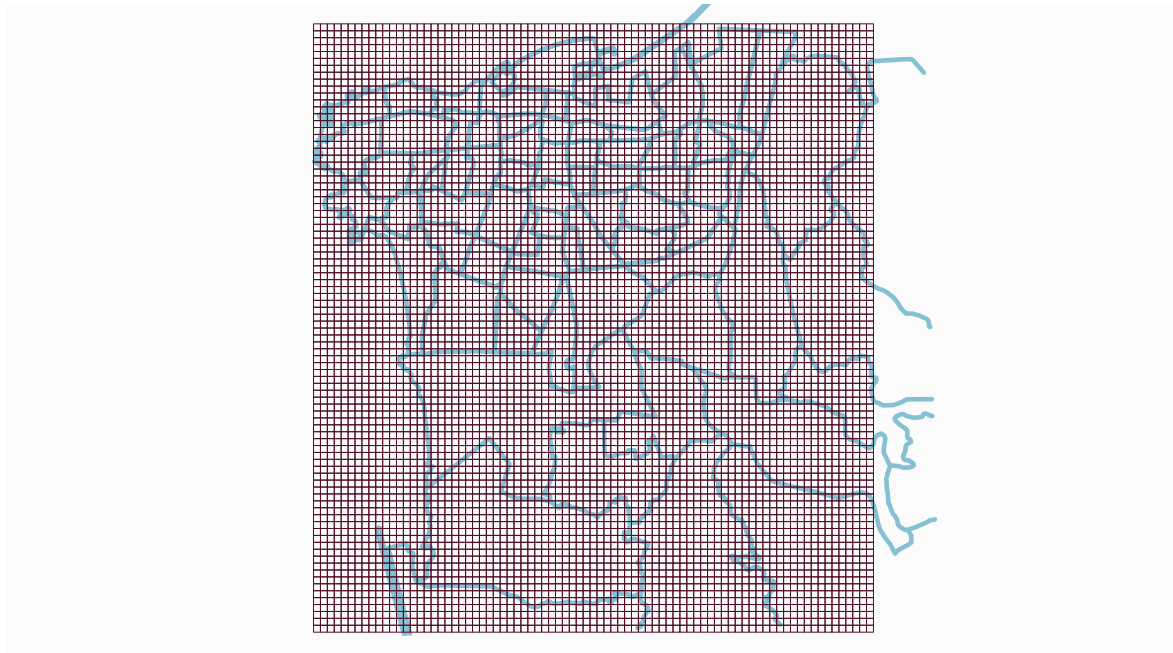
# Création grille vectorielle - objet sfc
grid_beyrouth <- st_make_grid(x = emprise,
                              cellsz = 100,
                              square = TRUE,
                              what = "polygons")

# Étendue de la grille
# Résolution en mètres
# Forme
# Grille de surface

# Ajout d'un attribut (identifiant) à l'objet sfc (= objet sf)
grid_beyrouth <- st_sf(ID = 1:length(grid_beyrouth), geom = grid_beyrouth)
```

Affichage de la grille régulière créée :

```
# Cartographie
mf_init(st_bbox(mentals_maps_beyrouth))
mf_map(x = beyrouth,
       col = "#85c1d3",
       lwd = 2,
       add = TRUE)
mf_map(x = grid_beyrouth, col = NA, lwd = 0.4, add = TRUE)
```



3.0.0.2 B. Construction d'une grille régulière de points

La fonction `st_make_grid()` du package `sf` permet également de construire une grille régulière de points. Ainsi, nous construisons une grille régulière de points espacés de 100km, qui recouvre la totalité de l'emprise spatiale des cartes mentales désignant des macro-régions d'appartenance.

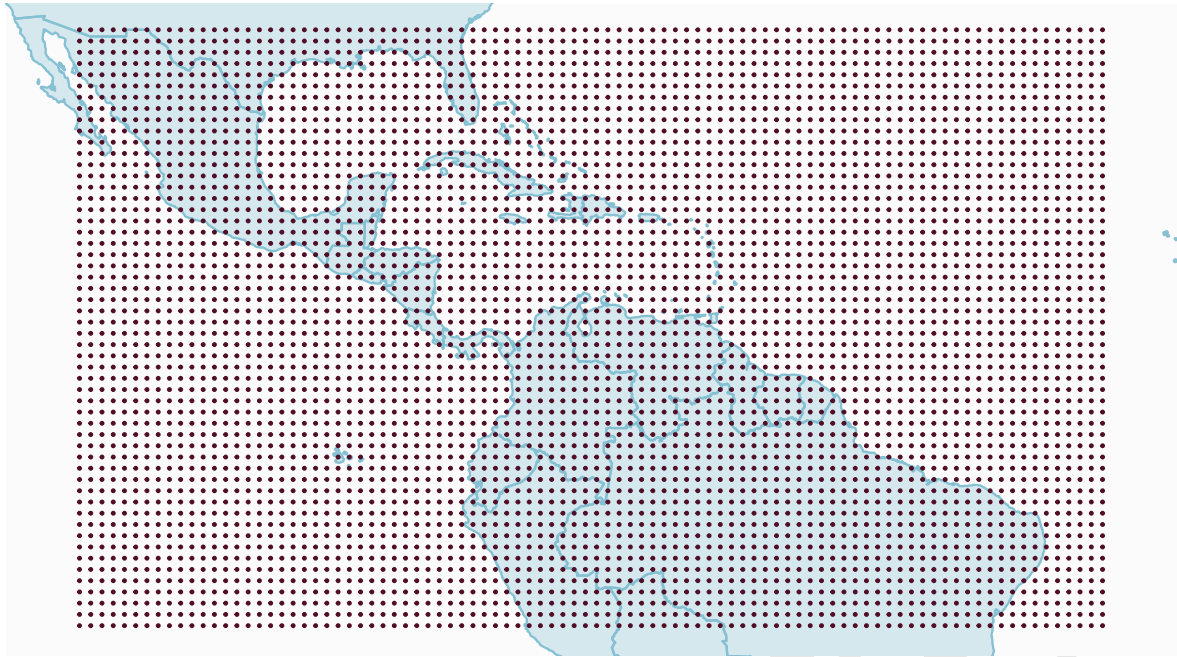
```
# Récupération de l'emprise géographique de cartes mentales collectées
emprise <- st_bbox(mentals_maps_macro)

# Création grille vectorielle de points (objet sfc)
grid_caraibes <- st_make_grid(x = emprise, # Étendue de la grille
                             cellsize = 100000, # Résolution en mètres
                             square = TRUE, # Forme
                             what = "centers") # Grille de points

# Ajout d'un attribut (identifiant) à l'objet sfc (= objet sf)
grid_caraibes <- st_sf(ID = 1:length(grid_caraibes), geom = grid_caraibes)
```

Affichage de la grille régulière de points :

```
# Cartographie
mf_init(st_bbox(mentals_maps_macro))
mf_map(world,
       col = "#85c1d350",
       border = "#85c1d3",
       lwd = 1,
       add = TRUE)
mf_map(grid_caraibes, cex = 0.3, add = TRUE)
```



4 Aggrégation des cartes

4.1 Intersection spatiale

Pour cumuler les cartes mentales sur une grille régulière, nous utilisons la fonction `st_intersects()` qui permet de détecter une intersection spatiale entre deux géométries de différentes couches géographiques (Figure 6), ici entre les grilles régulières de carreaux ou de points, et les cartes mentales.

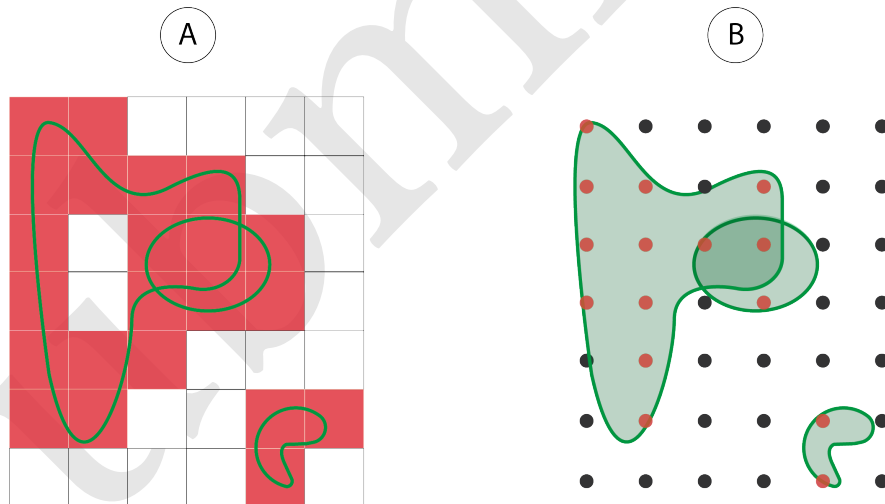


FIGURE 6 : Intersection des carreaux et des points avec les régions des limites ou surfaces dessinées. Auteur : Pecout H., 2025

4.1.1 A. Intersection carroyage - polylignes

Comme nous souhaitons intersecter uniquement les délimitations, nous transformons dans un premier temps les polygones dessinés en polylignes. Cela permet de ne prendre uniquement en compte que les contours des zones délimités et non leur surface. Pour cela, nous utilisons la fonction `st_cast()` pour convertir la géométrie de la couche géographique en `MULTILINESTRING`.

```
mentals_maps_beyrouth_line <- st_cast(mentals_maps_beyrouth, to = "MULTILINESTRING")
```

Puis nous pouvons détecter les intersections des contours dessinés (polylignes) avec le carroyage en utilisant la fonction `st_intersects()`.

```
# Calcul des intersections grille - polylignes
result_inter_polyligne <- st_intersects(x = grid_beyrouth,
                                         y = mentals_maps_beyrouth_line,
                                         sparse = TRUE)
```

Le résultat des intersections est stockée dans un objet list dans lequel un vecteur contenant l'index des cartes mentales intersectées est stocké pour chaque carreau.

```
# Quelles(s) carte(s) mentale(s) intersecte(nt) le 30e carreau de la grille ?
result_inter_polyligne[[30]]
```

```
[1] 54 252 355
```

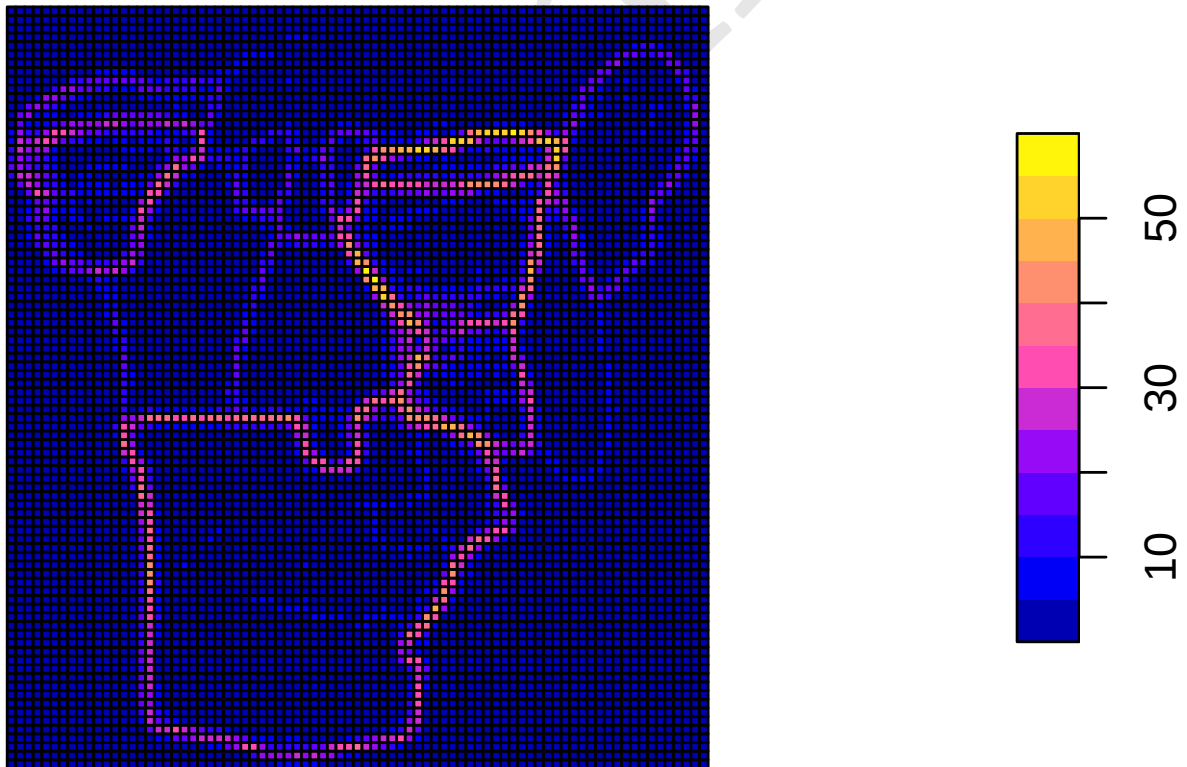
Nous utilisons ensuite la fonction `lengths()` sur l'objet list généré, pour compter le nombre d'intersections de chaque carreau de la grille avec l'ensemble des délimitations des quartiers dessinés. Le nombre d'intersections détectées est directement stocké dans la variable `count`.

```
# Ajout du nombre d'intersections détectés dans la variable "count"
grid_beyrouth$count <- lengths(result_inter_polyligne)
```

Représentation graphique simple du nombre d'intersections détecté par carreaux :

```
plot(grid_beyrouth["count"])
```

count



4.1.2 B. Intersection grille de points - polygones

Nous détectons les intersections des polygones dessinés avec la grille de points régulière en utilisant la fonction `st_intersects()`.

```
# Calcul des intersections grille - polygones
result_intersection <- st_intersects(x = grid_caraibes,
                                     y = mentals_maps_macro,
                                     sparse = TRUE)
```

Le résultat des intersections est stockée dans un objet list dans lequel un vecteur contenant l'index des cartes mentales intersectées est stocké pour chaque point. Exemple :

```
# Quelles(s) carte(s) mentale(s) intersecte(nt) le 2000e point de la grille ?
result_intersection[[2000]]

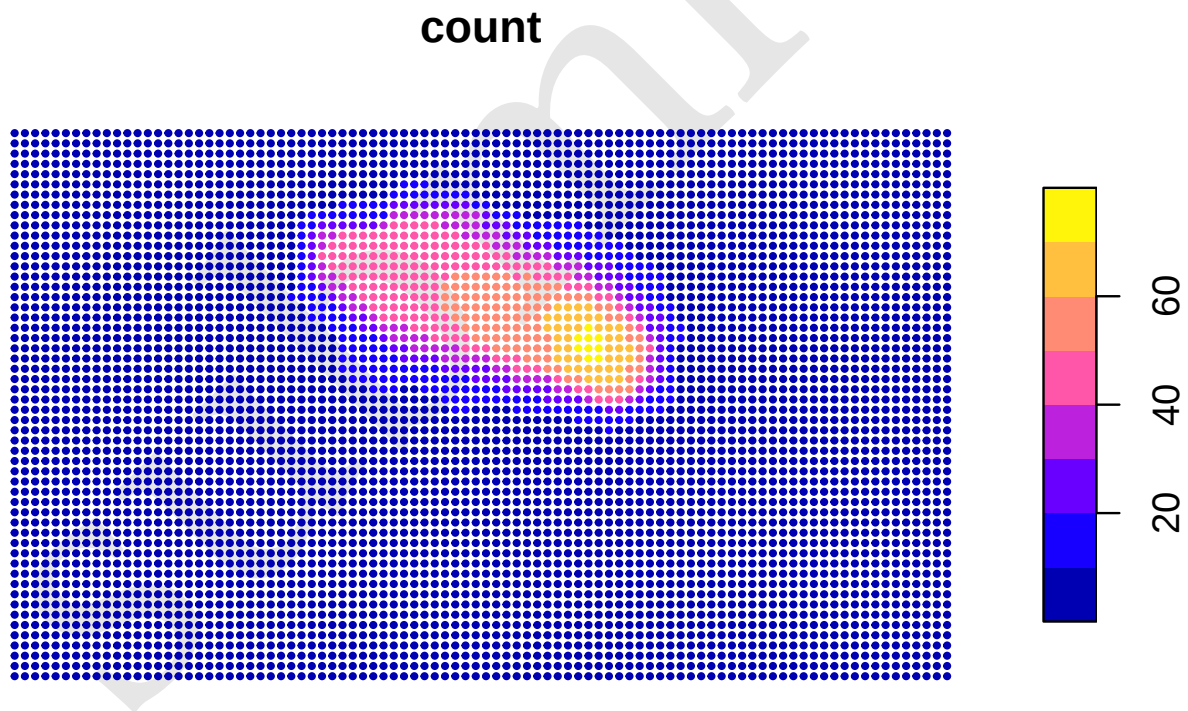
[1] 21 67 69 75
```

Nous utilisons ensuite la fonction `lengths()` sur l'objet list généré, pour compter le nombre d'intersections de chaque points avec l'ensemble des régions dessinées. Le nombre d'intersections détectées est directement stocké dans la variable `count`.

```
# Ajout du nombre d'intersections détecté dans la variable "count"
grid_caraibes$count <- lengths(result_intersection)
```

Représentation graphique simple du nombre d'intersections détecté pour chaque point de la grille :

```
plot(grid_caraibes["count"], pch=20, cex=0.5)
```



4.2 Cumul pondéré

Dans le cas où nous souhaiterions pondérer le poids de chaque carte mentale, nous utiliserons la fonction `st_join()` du package `sf`. Cette fonction permet de réaliser une jointure spatiale¹⁰ entre deux couches géographiques et de récupérer un poids assigné aux géométries, pour chaque jointure spatiale.

```
# Jointure spatiale entre grille de points et polygone
sum_weight <- st_join(x = grid_caraibes,
                      y = mentals_maps_macro)
```

Weighted or not weighted?

Pour résumer, deux méthodes sont possibles pour agréger des cartes mentales :

- De manière **non-pondérée avec `st_interst()`** qui permet de comptabiliser le nombre brut d'intersections des cartes avec chaque carreau/point de la grille régulière.
- De manière **pondérée avec `st_join()`** qui permet de récupérer (puis additionner) une valeur attribuée à chaque carte, pour chaque carreau/point qui les intersecte.

Il suffit ensuite de faire la somme des pondérations récupérées pour chaque carreau avec la fonction `aggregate()`, puis de joindre le résultat à la grille régulière de points avec `merge()`.

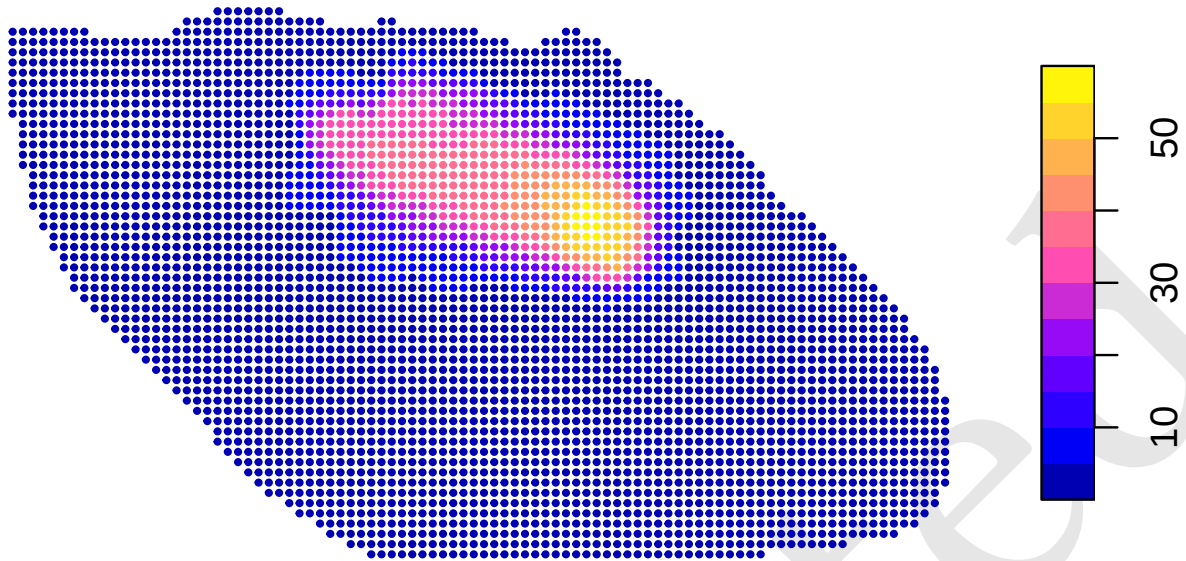
```
# Groupement par ID - Somme des "weight_scale"
sum_weight <- aggregate(weight_scale ~ ID, data = sum_weight, FUN = sum)

# Ajout sommes pondérée calculée à la grille régulières
grid_caraibes_2 <- merge(grid_caraibes, sum_weight, by = "ID", all.x= TRUE)

# Représentation graphique simple de la somme des intersections pondérées
plot(grid_caraibes_2["weight_scale"], pch=20, cex=0.5)
```

10. La jointure spatiale est une opération qui consiste à associer les attributs d'une couche géographique à une autre couche en fonction de leur relation spatiale (et non d'un identifiant commun comme dans une jointure classique).

weight_scale



4.3 Normalisation (%)

Afin de faciliter l'interprétation des cartes et leur comparaison, nous pouvons normaliser la variable count en pourcentage. Nous calculons la part des dessins (délimitations ou régions) qui intersecte chaque entité du maillage régulier, soit la densité des tracés sur par rapport au nombre de total de répondants.

Normalisation de la densité des tracés, en pourcentage (%) :

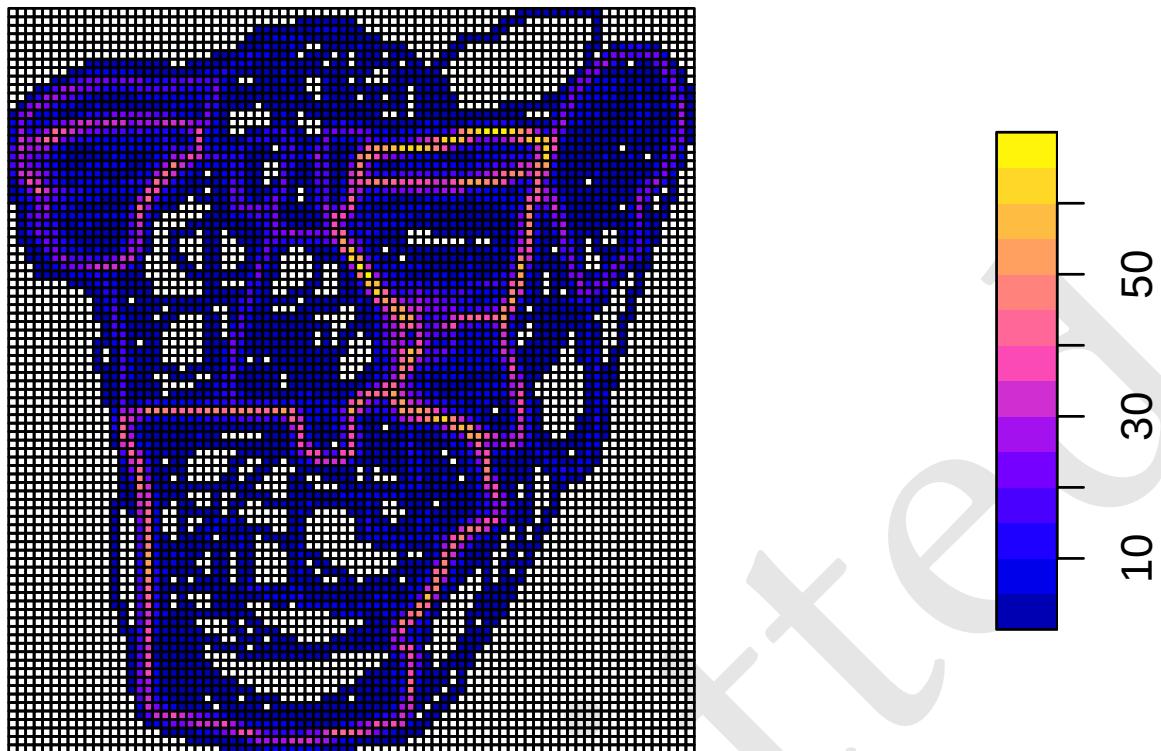
4.4 A. Sur Carroyage

```
# Nombre d'intersections / nombre total d'enquêtés * 100
grid_beyrouth$ratio <- grid_beyrouth$count / length(unique(mentals_maps_beyrouth_line$Pseudonym))

# Remplacement des valeurs "0" par "NA".
grid_beyrouth$ratio[grid_beyrouth$ratio == 0] <- NA

# Affichage graphique du résultat
plot(grid_beyrouth["ratio"], main = "Part des tracés intersectés (%)")
```

Part des tracés intersectés (%)



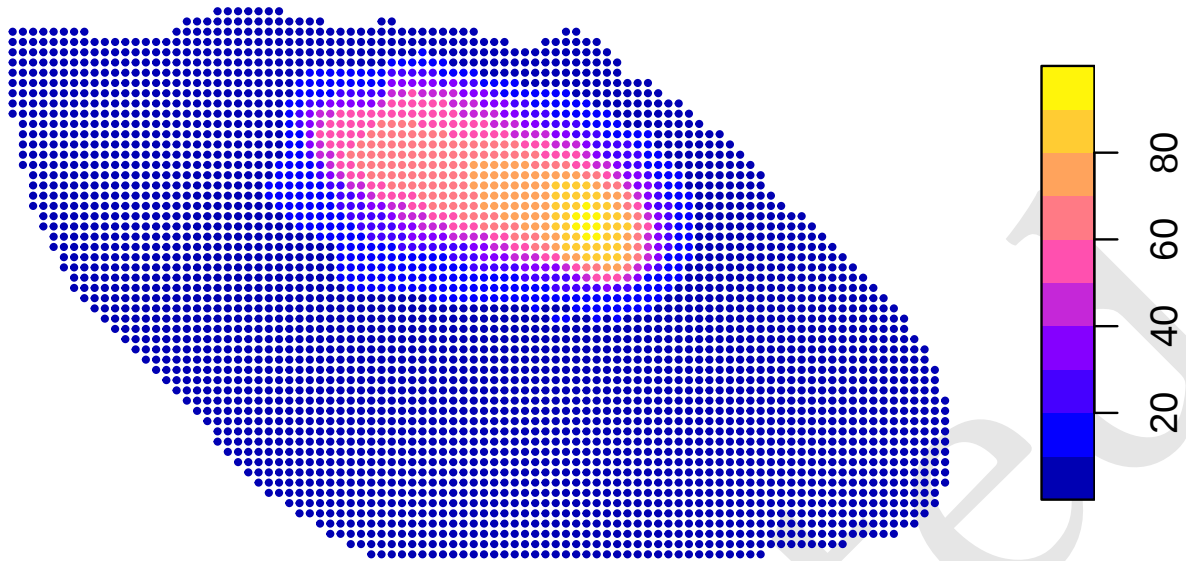
4.5 A. Sur grille régulière de points

```
# Nombre d'intersections / nombre total de répondants * 100
grid_caraibes$ratio <- grid_caraibes$count / length(unique(mentals_maps_macro$X0001_met_respID_

# Remplacement des valeurs "0" par "NA".
grid_caraibes$ratio[grid_caraibes$ratio == 0] <- NA

# Affichage graphique du résultat
plot(grid_caraibes["ratio"],
      pch=20,
      cex=0.5,
      main = "Part des zones intersectées (%)")
```

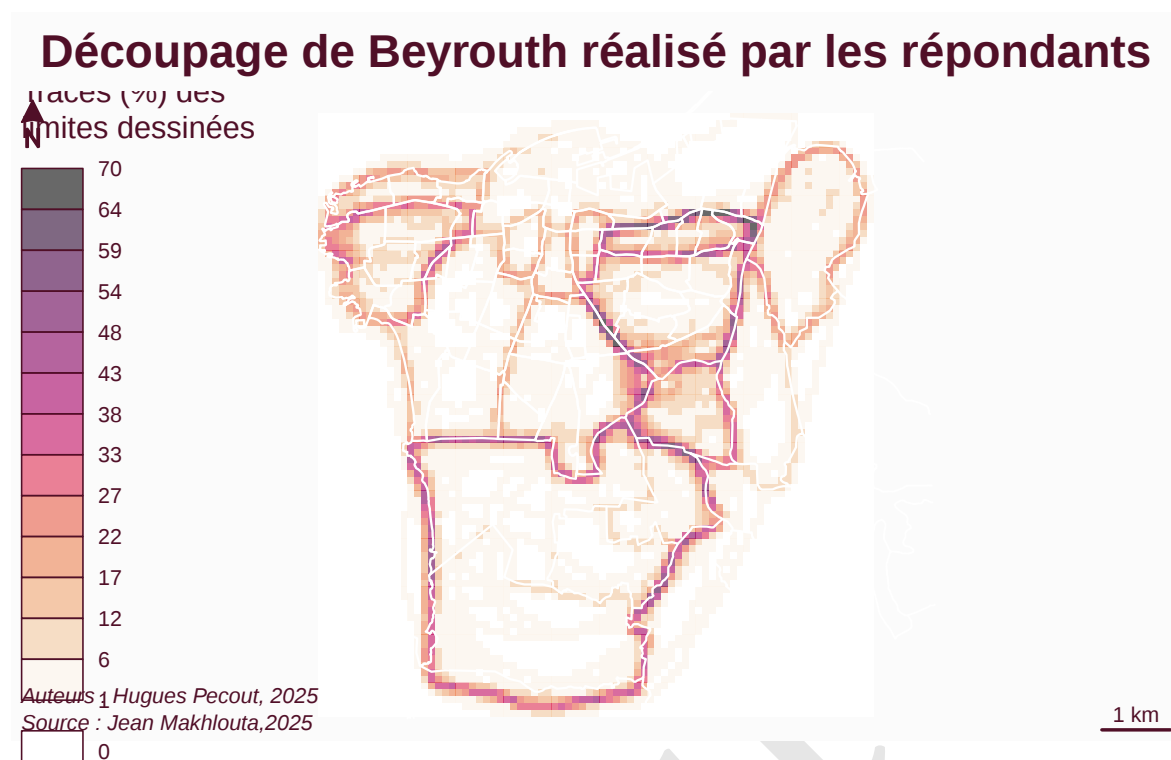
Part des zones intersectées (%)



5 Carte synthétique

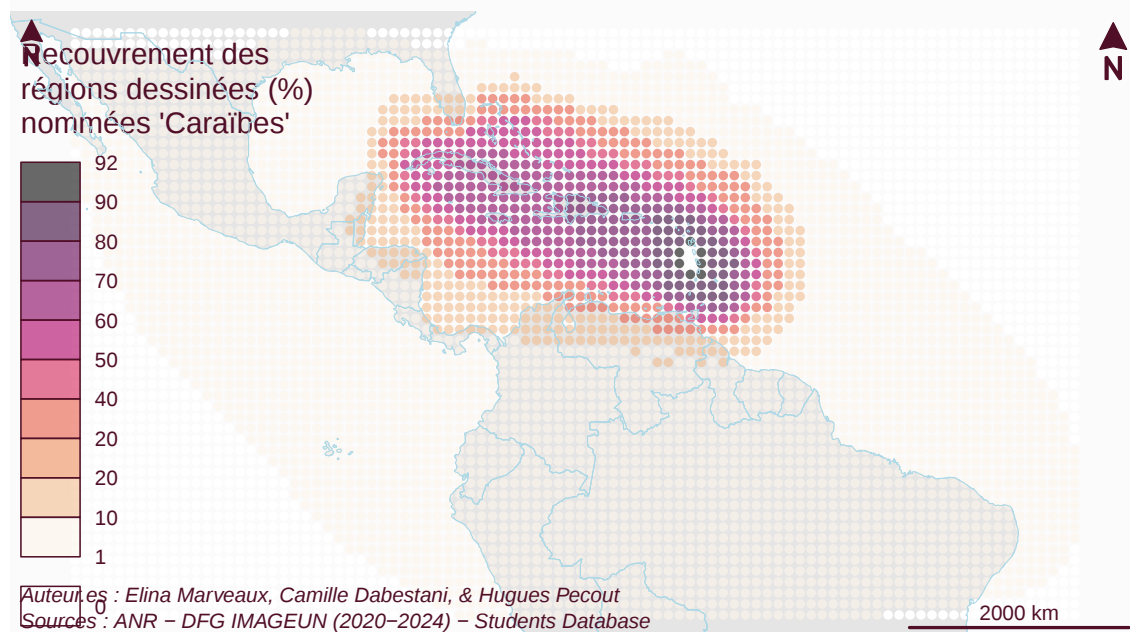
Nous disposons de toute l'information nécessaire pour construire une carte de chaleur représentant la densité des zones ou des tracés dessinés. Cependant, la variable représentée est stockée dans un maillage régulier (surface ou points), ce qui implique une représentation graphique discontinue de la variable et surtout un aspect “carroyé” de la visualisation.

5.1 A. Rendu graphique sur un carroyage



5.2 B. Rendu graphique sur une grille de points

recouvrements cumulés des cartes mentales de la régions 'Carai



i Pour une meilleure communication cartographique

Bien que ces cartes soient interprétables et même publiables en l'état, il est possible d'améliorer leur lisibilité et leur efficacité graphique en construisant des isolignes¹¹ à partir de la grille régulière de points.

5.3 Interpolation spatiale

Dans l'objectif d'accentuer l'efficacité et d'améliorer la lisibilité des cartes synthétiques, nous réalisons une interpolation spatiale¹² des valeurs des centroïdes¹³ de notre grille régulière.

Cela nous permet d'estimer des points pour la construction des isolignes reliant des points de même valeurs (Figure 7). L'estimation de la localisation des points de même valeur permettant la construction d'isolignes se fait par triangulation¹⁴.

Dans le cas où la grille utilisée est un carroyage, la première étape consiste donc à la transformer en grille régulière de points. Cela revient à extraire les centroïdes¹⁵ des carreaux de la grille régulière. Pour cela, il suffit d'appliquer la fonction `st_centroid()` du package `sf` sur le carroyage vectoriel

```
grid_beyrouth_pts <- st_centroid(grid_beyrouth)
```

5.4 Discrétisation

A partir du semi de point associé à une variable (ici `ratio`), nous pouvons construire des isolignes, et ainsi regrouper l'espace par classe de valeur. Cela simplifie la représentation cartographique et en facilite sa lecture.

La construction d'isolignes repose ainsi sur le choix d'une discrétisation, de classe de valeurs regroupées. Dans cet exemple, nous optons pour une discrétisation par amplitudes égales¹⁶.

Pour calculer automatiquement les bornes de classes d'une discrétisation à amplitudes égales, nous pouvons utiliser la fonction `mf_get_breaks()` du package `mapsf` qui renvoie un vecteur avec les bornes de classes recherchées.

```
# Discrétisation d'amplitude égale en 8 classes (intersections des limites de quartier)
breaks_delim <- mf_get_breaks(x = grid_beyrouth_pts$ratio,
                             breaks = "equal",
                             nbreaks = 8)
```

11. En cartographie, des isolignes sont des lignes d'égale valeur, généralement obtenues par triangulation à partir de points de mesure, représentant la répartition d'une information statistique continue dans l'espace. Exemples : les courbes de niveau (altitude) ou lignes isobares (pression atmosphérique).

12. L'interpolation spatiale est une technique qui permet d'estimer et insérer des valeurs inconnues entre des données connues. L'interpolation permet de réaliser des estimations en utilisant des méthodes mathématiques pour agréger des données entre des points de données existantes.

13. Le centroïde équivaut au centre géométrique ou localisation moyenne d'une entité spatiale

14. La triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point en mesurant les angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue, et ceci plutôt que de mesurer directement la distance entre les points.

15. Le centroïde équivaut au centre géométrique ou localisation moyenne d'une entité spatiale

16. Une discrétisation d'amplitude égale ou discrétisation par équidistance implique que l'étendue de chaque classe est constant.

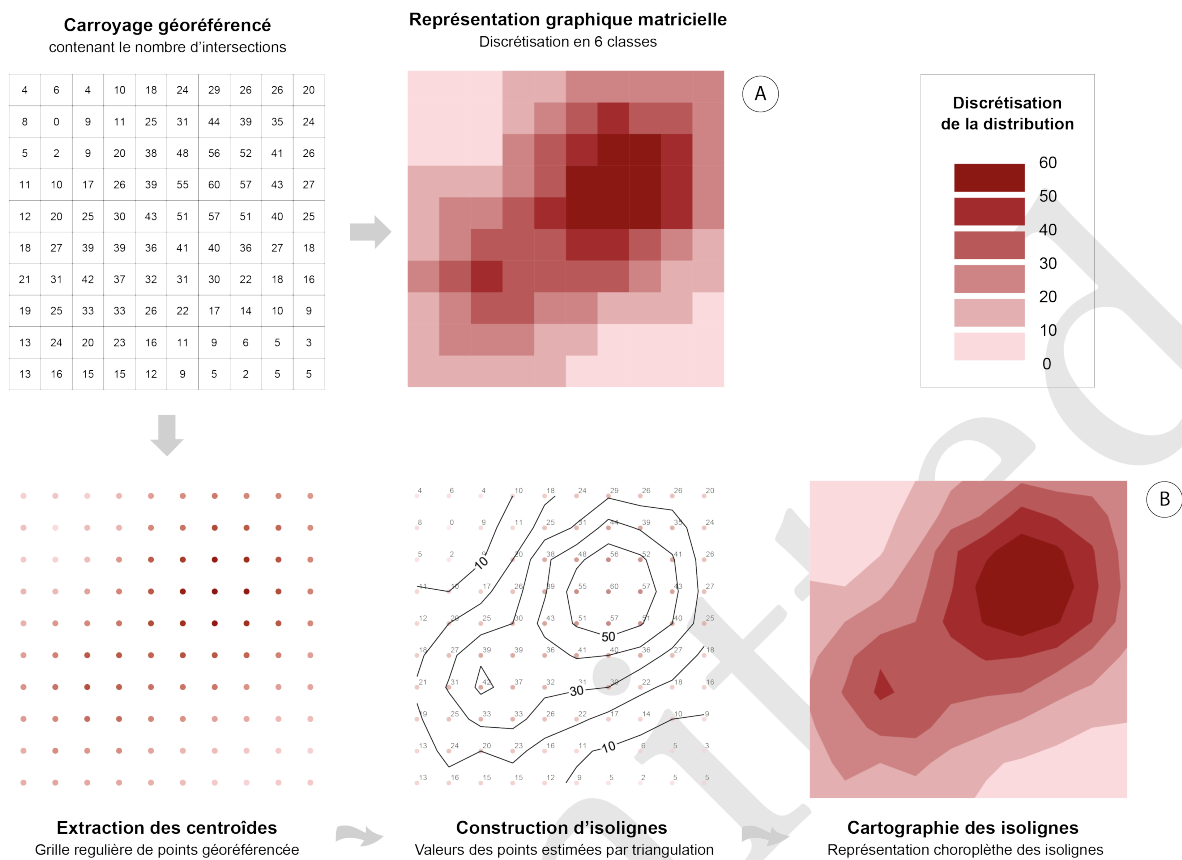
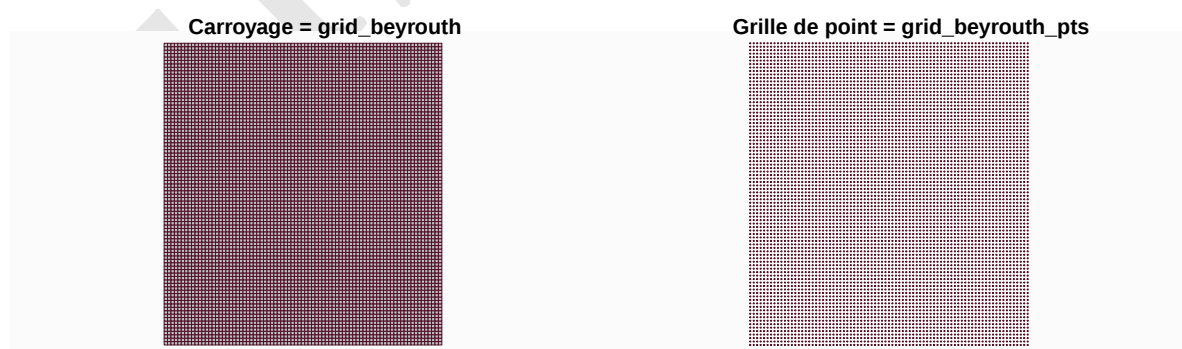


FIGURE 7 : Construction d'isolignes pour les valeurs 10, 20, 30, 40 et 50, à partir des centroïdes du carroyage. Auteur : Pecout H., 2025



```
# Discrétisation d'amplitude égale en 8 classes (intersections des surfaces de région)
breaks_area <- mf_get_breaks(x = grid_caraibes$ratio,
                             breaks = "equal",
                             nbreaks = 8)

# Exemple de bornes de classes calculées
print(breaks_delim)

[1] 1.219512  9.756098 18.292683 26.829268 35.365854 43.902439 52.439024
[8] 60.975610 69.512195
```

5.5 Création d'isolignes

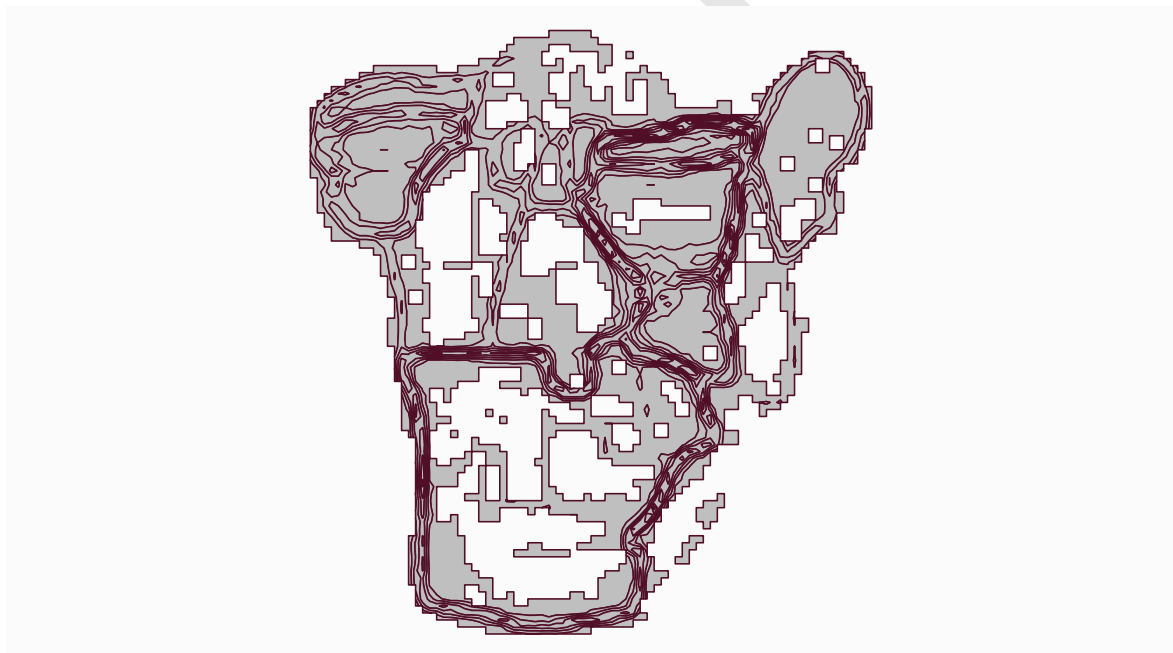
Le package mapiso permet de créer des isolignes en fonction d'une discrétisation prédéfinie. À partir du vecteur récupéré et de la grille régulière de points valués (variable ratio), nous construisons des isolignes pour chaque borne de classe récupérée avec la fonction mapiso().

5.6 A. Création d'isolignes (limites de quartiers)

```
iso_limites <- mapiso(x = grid_beyrouth_pts,
                     var = "ratio",
                     breaks = breaks_delim)
```

Affichage des isolignes (objet sf de polygones) générées :

```
mf_map(iso_limites)
```



5.7 B. Création d'isolignes (emprises de régions)

```
iso_surface <- mapiso(x = grid_caraibes,
                     var = "ratio",
                     breaks = breaks_area)
```

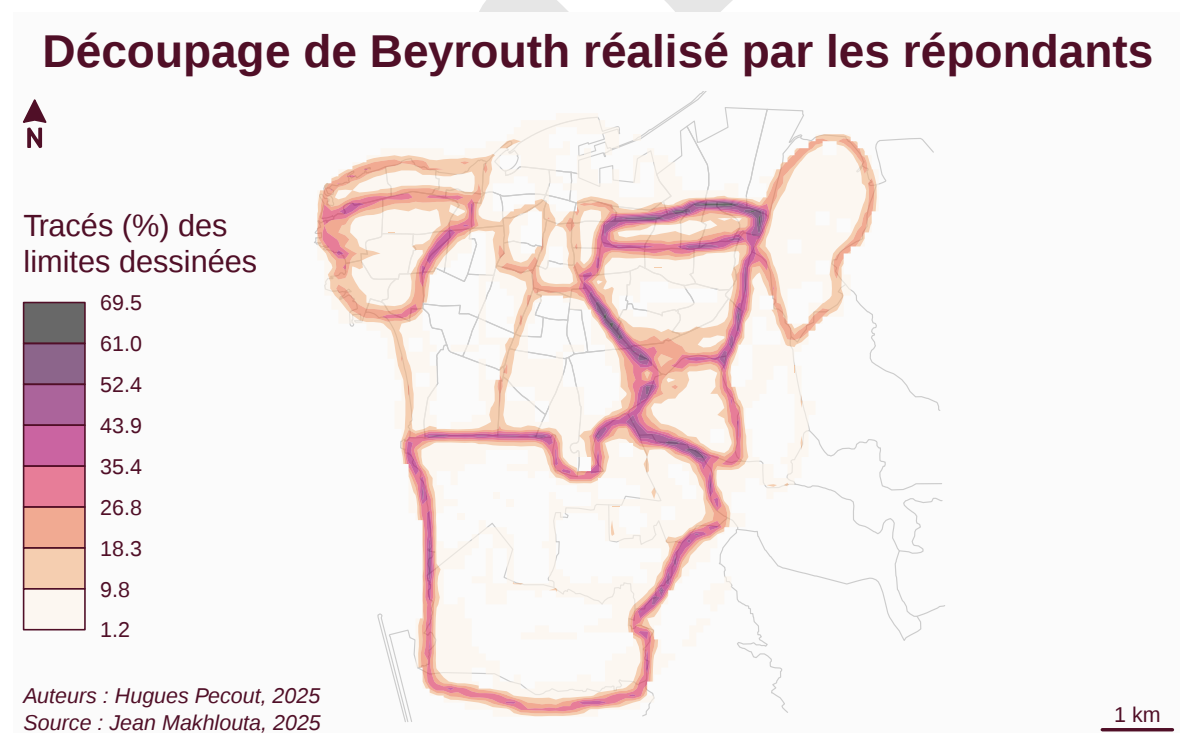
Affichage des isolignes (objet sf de polygones) générées :

```
mf_map(iso_surface)
```



Il ne reste plus qu'à cartographier les isolignes calculées en utilisant un dégradé de couleur, qui traduit la densité de recouvrement de l'espace par le corpus de cartes mentales étudié.

5.8 A. Délimitation de quartiers à Beyrouth



Paramétrage de l'emprise de la carte

```

mf_init(iso_surface)

# Ajout fond de carte 'beyrouth'
mf_map(x = beyrouth,
       border = "lightblue",
       col = "gray80",
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

# Carte de chaleur
mf_map(x = iso_surface,
       var = "isomin",
       type = "choro",
       breaks = breaks_delim,
       border = NA,
       pal = "Rocket",
       alpha = 0.6,
       leg_pos = "left",
       leg_title = "Tracés (%) des\nlimites dessinées",
       leg_val_rnd = 1,
       add = TRUE)

# Superposition fond de carte 'beyrouth'
mf_map(x = beyrouth,
       border = "lightblue",
       col = NA,
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

# Éléments de mise en page
mf_layout(title = "Découpage de Beyrouth réalisé par les répondants",
          credits = "Auteurs : Hugues Pecout, 2025\nSource : Jean Makhoulouta, 2025")

```

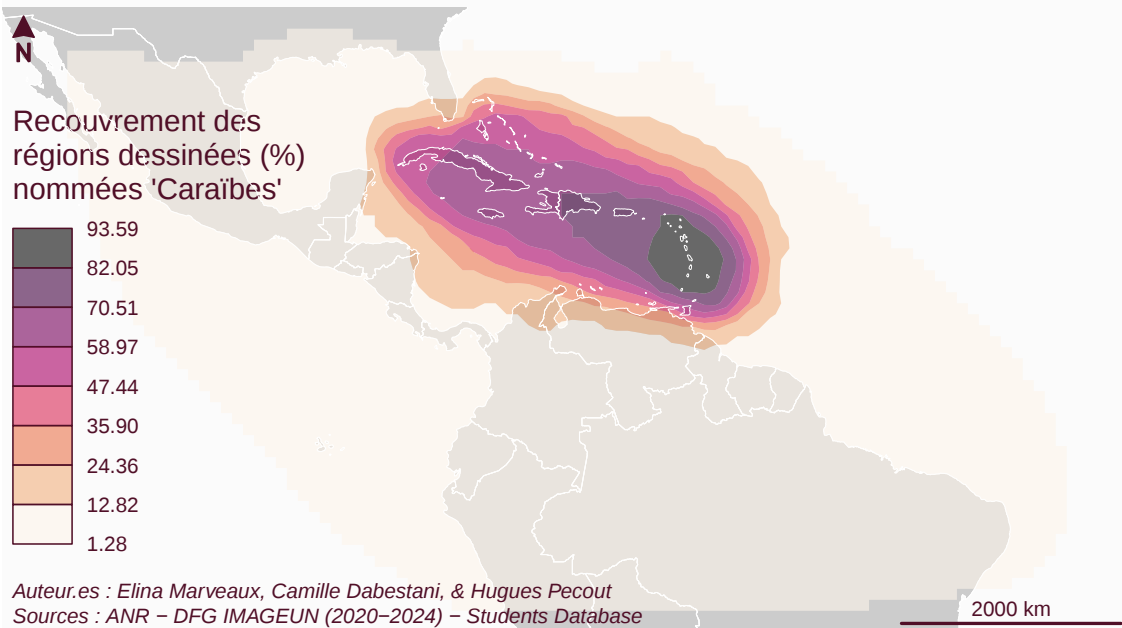


Commentaire de carte

JEAN AJOUTE COMMENTAIRE DE CARTE

5.9 B. Délimitation de la macro-région 'Caraïbes'

risques cumulées des cartes mentales de la régions 'Carai



```
# initialisation de la fenêtre sur l'emprise choisie
mf_init(iso_surface)

# Ajout fond de carte
mf_map(x = world,
       border = "white",
       col = "gray80",
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

# cartographie des intersections
mf_map(x = iso_surface,
       var = "isomin",
       type = "choro",
       breaks = breaks_area,
       border = NA,
       pal = "Rocket",
       alpha = 0.6,
       leg_pos = "left",
       leg_title = "Recouvrement des\nrégions dessinées (%) \nnommées 'Caraïbes'",
       add = TRUE)
       leg_val_rnd = 1,
       add = TRUE)

# superposition des frontières
mf_map(x = world,
       border = "white",
```

```
col = NA,
lwd = 0.2,
add = TRUE)

# Habillage final
mf_layout(title = "Emprises cumulées des cartes mentales de la régions 'Caraïbes'",
credits = "Auteur.es : Elina Marveaux, Camille Dabestani, & Hugues Pecout\nSources :
```

💡 Commentaire de carte

Sur la carte ci-dessus, on retrouve la synthèse cumulée des cartes mentales où les étudiant-es ont nommé leur tracé « Caraïbe(s) ». On voit se dessiner les représentations spatiales associées à un terme : des espaces faisant partie quasi systématiquement des tracés (en violet foncé, ici l'est de l'arc antillais), des « marches » où on voit apparaître des limites collectives dans les représentations des enquêté-es (ici Haïti ou les espaces continentaux) ainsi que les spatialités les moins fréquentes, mais bien présentes des cartes mentales de l'échantillon (ici emprises sur l'Amérique centrale ou le nord de l'Amérique du Sud).

Cette même démarche permet d'appréhender et de comparer des groupes au sein d'un même corpus en fonction d'autres critères sémantiques (« Antilles », « Amérique ... »), de critères socio-démographiques (niveau d'inscription, discipline étudiée, âge ou encore genre) ou de critères spatiaux (nombre d'espaces tracés ou continentalité et insularité, par exemple).

6 Comparaison de corpus

Le cumul des dessins dans une même grille régulière géoréférencée permet la représentation graphique synthétique d'un ensemble de carte mentale. Il s'agit donc d'une méthode d'aide à l'interprétation des données collectées, à une échelle agrégée.

La transposition de plusieurs sous corpus de carte dans une même grille de référence peut aussi être utilisé pour comparer deux cartes synthétiques. Dans le cadre de l'ANR-DFG Imageun, les étudiant-es de cinq pays ont été enquêtés, et du fait de leurs positionnements, les espaces européens (UE, Europe, etc.) sont apparus dans l'ensemble des corpus nationaux de cartes mentales. Cependant, les représentations d'un même objet vont grandement varier entre et au sein des corpus. Si le reste du questionnaire (et les entretiens dans le cadre caribéen) permet d'approfondir les différents enjeux politiques et symboliques derrière cet objet, les variations dans les représentations spatiales peuvent être abordées par l'analyse comparative des cartes mentales portant sur un même objet dans différents corpus.

Ainsi, dans l'exemple suivant nous construisons une carte dite "différentielle" qui cartographie les écarts de recouvrement de l'espace entre deux groupes d'enquêtés : les étudiants français et les étudiants allemands. Il s'agit ici de comparer les différences d'emprises de l'Union Européenne dessiné par les deux groupes d'étudiants.

Nous commençons par importer les données supplémentaires nécessaires, à savoir les réponses au questionnaire associées à la question de carte mentales (cf. [Partie 2.3.2](#)). Cela permettra de sélectionner les répondants en fonction de leur pays d'étude.

```
# Import des données d'enquête
data <- read.csv("data/survey.csv")
```

Nous joignons ensuite le tableau de données à la couche géographique des cartes mentales collectées

en utilisant l'identifiant unique des répondants.

```
data_full <- merge(mentals_maps_macro_reg, data, by= "X0001_met_respID_aut")
```

Enfin, nous sélectionnons uniquement les régions dessinées nommées “UE” ou “Union Européenne”.

```
data_UE <- subset(data_full, E1903_map_rgname_lab_fr %in% c("UE", "Union Européenne"))
```

Il nous reste plus qu'à créer nos deux sous-corpus de carte mentales de l'UE. Un corpus de cartes réalisées par les étudiants français et une autres de cartes collectées auprès d'étudiants allemands.

```
# Corpus de cartes mentales des étudiants français
```

```
data_french <- subset(data_UE, A0405_cad_univer_lab_country %in% c("France Metropolitan"))
```

```
# Corpus de cartes mentales des étudiants allemands
```

```
data_german <- subset(data_UE, A0405_cad_univer_lab_country %in% c("Germany"))
```

6.1 Une grille unique...

Nous construisons ensuite une seule grille de points (espacés de 100km) sur l'espace européen, avec laquelle on intersectera respectivement les deux corpus de cartes mentales sélectionnés.

```
# Récupération de l'emprise géographique de cartes mentales des deux corpus
```

```
emprise <- st_bbox(data_UE)
```

```
# Création grille vectorielle de points (objet sfc)
```

```
grid_UE <- st_make_grid(x = emprise,
                        cellsize = 100000,      # Résolution en mètres
                        square = TRUE,          # Forme
                        what = "centers")        # Grille de points
```

```
# Ajout d'un attribut (identifiant des points)
```

```
grid_UE <- st_sf(ID = 1:length(grid_UE), geom = grid_UE)
```

6.2 ...Pour deux cartes

Nous intersectons les deux sous-corpus de carte avec la même grille régulière de points. nous normalisons ensuite les données en rapportant le nombre d'intersections détectées au nombre total d'enquêtés.

6.3 Pour les étudiants français

```
# Intersections grille - polygones
```

```
result_fr <- st_intersects(x = grid_UE,
                           y = data_french,
                           sparse = TRUE)
```

```
# Récupération du nombre d'intersections
```

```
grid_UE$count_fr <- lengths(result_fr)
```

```
# Normalisation
```

```
grid_UE$pct_fr <- grid_UE$count_fr / length(unique(data_french$X0001_met_respID_aut)) * 100
```

Et voilà la carte synthétique de l'emprise imaginée de l'UE par les étudiants français :

```

# initialisation de la fenêtre sur l'emprise choisie
mf_init(grid_UE)

# Ajout fond de carte
mf_map(x = world,
       border = "lightblue",
       col = "gray90",
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

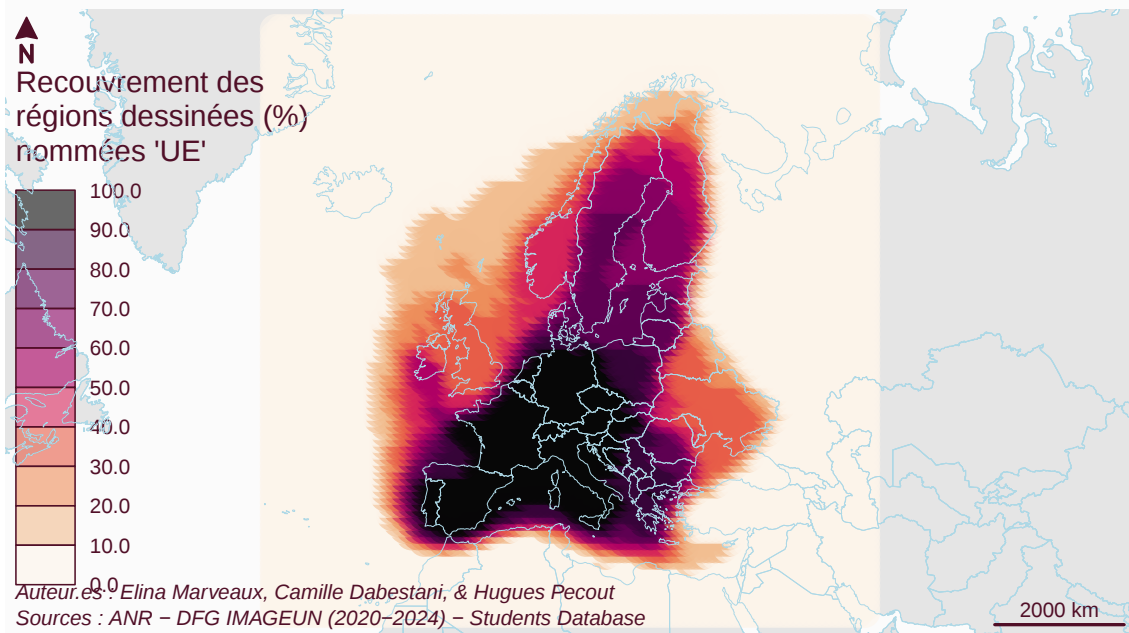
# cartographie des intersections
mf_map(x = grid_UE,
       var = "pct_fr",
       type = "choro",
       breaks = c(0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100),
       border = NA,
       pal = "Rocket",
       alpha = 0.6,
       leg_pos = "left",
       leg_title = "Recouvrement des\nrégions dessinées (%) \nnommées 'UE'",
       leg_val_rnd = 1,
       add = TRUE)

# superposition des frontières
mf_map(x = world,
       border = "lightblue",
       col = NA,
       lwd = 0.2,
       add = TRUE)

# Habillage final
mf_layout(title = "Emprises cumulées des cartes de la régions 'UE' - Etudiants français",
          credits = "Auteurs : Elina Marveaux, Camille Dabestani, & Hugues Pecout\nSources :

```

es cumulées des cartes de la régions 'UE' – Etudiants fr



6.4 Pour les étudiants allemands

```
# Calcul des intersections grille - polygones
result_de <- st_intersects(x = grid_UE,
                           y = data_german,
                           sparse = TRUE)

# Récupération du nombre d'intersections
grid_UE$count_de <- lengths(result_de)

# Normalisation
grid_UE$pct_de <- grid_UE$count_de / length(unique(data_german$X0001_met_respID_aut)) * 100
```

Et voilà la carte synthétique de l'emprise imaginée de l'UE par les étudiants allemands :

```
# initialisation de la fenêtre sur l'emprise choisie
mf_init(grid_UE)

# Ajout fond de carte
mf_map(x = world,
       border = "lightblue",
       col = "gray90",
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

# cartographie des intersections
mf_map(x = grid_UE,
       var = "pct_de",
       type = "choro",
       breaks = c(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100),
       border = NA,
```

```

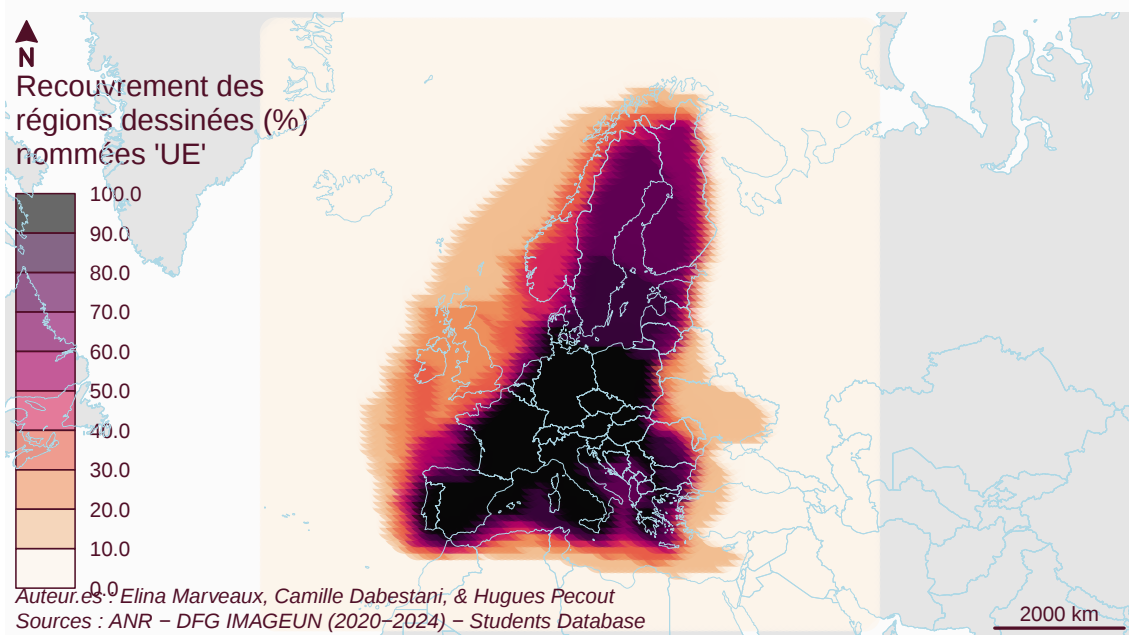
pal = "Rocket",
alpha = 0.6,
leg_pos = "left",
leg_title = "Recouvrement des\nrégions dessinées (%)\nnommées 'UE'",
leg_val_rnd = 1,
add = TRUE)

# superposition des frontières
mf_map(x = world,
      border = "lightblue",
      col = NA,
      lwd = 0.2,
      add = TRUE)

# Habillage final
mf_layout(title = "Emprises cumulées des cartes de la régions 'UE' - Etudiants allemands",
          credits = "Auteur.es : Elina Marveaux, Camille Dabestani, & Hugues Pecout\nSources :")

```

Emprises cumulées des cartes de la régions 'UE' – Etudiants allemands



💡 Commentaire de cartes

Dans l'exemple présenté ici, l'analyse des deux corpus de cartes mentales (français et allemand) représentant les espaces nommés « UE » permet de donner à voir les variations fines des représentations entre les deux groupes. On observe ainsi des représentations de l'UE davantage projetées vers l'ouest pour les étudiant-es de l'Hexagone et vers l'est chez les étudiant-es en Allemagne, tandis que l'espace méditerranéen apparaît comme une discontinuité forte chez le premier groupe, et comme un gradient chez le second.

6.5 Carte différentielle

La comparaison de ces deux cartes synthétiques peut être formalisée par la construction d'une carte différentielle qui met en exergue les écarts de représentation d'un même objet spatial entre deux groupes d'individus.

Pour reprendre l'exemple des représentations de l'UE chez les étudiant-es en France et en Allemagne, il est possible de faire apparaître les écarts de pourcentage de recouvrement entre les deux corpus sur une même carte.

Pour cela, Il suffit tout simplement de soustraire les taux d'intersection de chaque points de la grille avec un corpus, par les taux de recouvrement calculé à partir d'un autre corpus. Le résultat de cette soustraction est stockée dans la colonne `diff_fr_de`.

```
# Différence pourcentage de recouvrement des deux corpus de cartes
# étudiants français - étudiants allemands
grid_UE$diff_fr_de <- grid_UE$pct_fr - grid_UE$pct_de
```

Pour la construction d'isolignes, nous devons déterminer des bornes de classes (valeur des isolignes).

```
# Construction d'un vecteur de bornes de classes
discr <- c(min(grid_UE$diff_fr_de), -20, -10, -5, -2, 0, 0, 2, 5, 10, 20, 30, max(grid_UE$diff_fr_de))
```

Nous construisons également une palette de couleurs divergentes (vecteur de couleur) avec la fonction `mf_get_pal()` pour bien différencier les valeurs supérieures et inférieures à 0.

```
# Construction d'un vecteur de couleur divergentes
cols <- mf_get_pal(n = c(5, 6), pal = c("greens", "Reds 2"), neutral = NA)
```

À partir du vecteur de bornes de classes et de la grille de points, nous calculons les isolignes.

```
iso_surface <- mapiso(x = grid_UE,
                     var = "diff_fr_de",
                     breaks = discr)
```

Il nous reste plus qu'à cartographier le résultat...

```
# Paramétrage de l'emprise
mf_init(iso_surface)

# Ajout fond de carte
mf_map(x = world,
       border = "lightblue",
       col = "gray90",
       lwd = 0.5,
       add = TRUE)

# cartographie des intersections
mf_map(x = iso_surface,
       var = "isomin",
       type = "choro",
       breaks = discr,
       border = NA,
       pal = cols,
       alpha = 0.6,
       leg_pos = "left",
```

```

leg_title = "Différence en\npoints (%)",
leg_val_rnd = 1,
add = TRUE)

# superposition des frontières
mf_map(x = world,
      border = "white",
      col = NA,
      lwd = 0.3,
      add = TRUE)

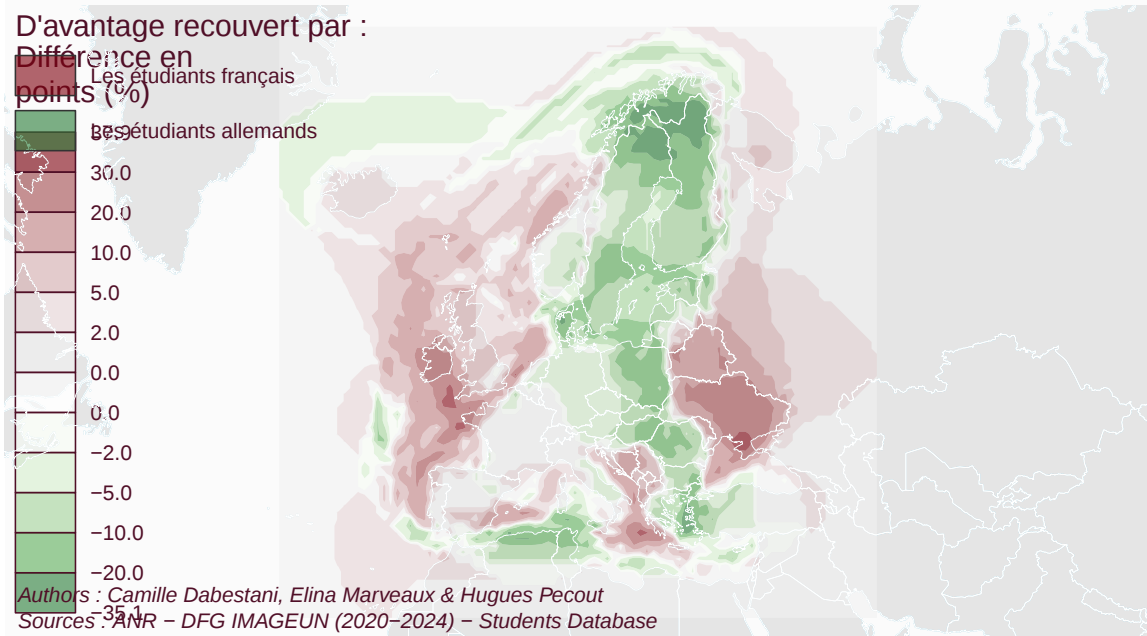
# Ajout d'un bloc de légende
mf_legend(type = "typo",
         val = c("Les étudiants français",
                 "Les étudiants allemands"),
         pal = c("#7F000D99", "#267C3599"),
         pos = "topleft", title = "D'avantage recouvert par :")

# Titre
mf_title("Différence des emprises dessinées de l'UE, entre étudiants FR et DE", cex = 1)

# Sources
mf_credits("Authors : Camille Dabestani, Elina Marveaux & Hugues Pecout\nSources : ANR - DFG IM

```

Différence des emprises dessinées de l'UE, entre étudiants FR et DE



💡 Commentaire de carte

Par différence de points de pourcentage, on voit apparaître en vert les espaces davantage représentés chez les étudiant-es en Allemagne (est de l'Europe, bassin méditerranéen et Turquie)

et en rouge ceux figurant plus chez les étudiant-es en France (frange la plus à l'est et frontière russe, façade atlantique).

Nous percevons également que plusieurs territoires, non-membres de l'UE, comme le Royaume-uni, l'Ukraine, la Serbie, l'Albanie, etc. semblent beaucoup souvent inclus dans l'UE par les étudiants français que par les étudiants allemands.

Conclusion

En réunissant traitement spatial, quantification statistique et visualisation cartographique, la méthode présentée dans cet article ouvre des perspectives répliquables en SHS pour étudier des corpus de cartes mentales. Plutôt que de se limiter à une interprétation exclusivement qualitative des dessins individuels — approche courante mais difficilement comparable entre terrains — cette approche formalise une chaîne de traitement standardisée et documentée qui peut être appliquée sur des jeux de données variés, issus d'enquêtes micro-locales ou macro-régionales. Grâce à l'usage de grilles régulières, d'aggrégations spatiales et de représentations telles que les cartes de chaleur ou isolignes, il devient possible de décrire, mesurer et comparer objectivement des tendances collectives à partir de données initialement subjectives. Cette capacité à générer des résultats quantitatifs reproductibles enrichit l'interprétation qualitative des cartes mentales, en offrant un cadre permettant de relier les expériences individuelles aux tendances collectives et de réaliser des comparaisons fiables entre terrains et groupes.

Bibliographie

- Battersby, S. E. et Montello, D. R. (2009). Area Estimation of World Regions and the Projection of the Global-Scale Cognitive Map. *Annals of the Association of American Geographers*, (99), 273-291.
- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Mouton.
- Cauvin, C. (1984). Une méthode de comparaison de données localisées : la régression bidimensionnelle. *L'Espace géographique*, 13(2), 94-109. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1984.3909>
- Cordazzo, P. (2019). *Parcours d'étudiants* (Ined éditions). Ined éditions.
- Dabestani, C. (2025). *Refaire la Caraïbe. Représentations et appropriations étudiantes des imaginaires macro-régionaux en contexte postcolonial (Guadeloupe, Martinique)* [thèse de doctorat en {géographie}, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne]. <https://theses.fr/s261064>
- Dias, P. et Ramadier, T. (2017). Relations sociales et cartographie cognitive. Les points de référence comme noyau central des représentations spatiales. *Presses universitaires de Liège*, (116), 319-349.
- Didelon, C., Ruffray, S. de, Boquet, M. et Lambert, N. (2011). Un monde d'interstices | Apport de la logique floue pour l'analyse des cartes interprétatives. *Comité français de cartographie (CFC)*, (209), 71-82.
- Giraud, M. (2004). Faire la Caraïbe, comme on refait le monde. *Pouvoirs dans Caraïbe Rev. du Cent. rech. sur pouvoirs locaux dans Caraïbe*, (14), 81-108.
- Giraud, T. (2023). *mapiso : Create Contour Polygons from Regular Grids*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.mapiso>
- Giraud, T. (2024). *mapsf : Thematic Cartography*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.mapsf>
- Gould, P. et White, R. (1974). *Mental Maps* (Penguin Books).
- Hijmans, R. J. (2025). *geodata : Access Geographic Data*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.geodata>
- Kahila, M. et Kytä, M. (2009). SoftGIS as a Bridge-BUILDER in Collaborative Urban Planning. In

- Planning Support System Best Practice and New Methods* (Springer Science + Business Media B. V., p. 389-411).
- Lynch, K. (1960). *The image of the city* (33. print). M.I.T. Press.
- Makhlouta, J. (2025). *Se faire une place en ville. Mobilités et stratégies spatiales des minorités sexuelles et de genre à Beyrouth* [thèse de doctorat en {géographie}, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne]. <https://theses.fr/s261738>
- Marveaux, E., Dabestani, C. et Pécourt, H. (2024a). Etudier les imaginaires macrorégionaux estudiantins : Base de données et traitements pour l'analyse des imaginaires macrorégionaux chez les étudiant-es en Europe et dans son voisinage [Imageun]. *Imageun*. <https://imageun.gitpages.huma-num.fr/datapaper/fr/index.fr.html>
- Marveaux, E., Dabestani, C. et Pécourt, H. (2024b). IMAGEUN - Enquête étudiante / IMAGEUN - Student Survey [Data]. NAKALA - <https://nakala.fr> (Huma-Num - CNRS). <https://doi.org/10.34847/NKL.9B2ELYUM>
- Marveaux, E., Dabestani, C. et Pécourt, H. (2025). Studying geographical imaginaries with numeric mental maps. *CDEMC Journal*, (3). <https://demc-journal.org/articles/revue-3/4077-studying-geographical-imaginaries-with-numeric-mental-maps>
- Michel, B. (2018). Construction de cartes mentales synthétiques : mise en avant des représentations spatiales collectivement partagées. *Carnets de géographes*, (11). <https://doi.org/10.4000/cdg.1341>
- Pebesma, E. (2018). Simple Features for R : Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1), 439-446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pinheiro, J. Q. (1998). Determinants of cognitive maps of the world as expressed in sketch maps. *Journal of Environmental Psychology*, (18), 321-339.
- Quesnot, T. (2024). *Approches (dés)incarnées des Espaces-Temps en Océanie : Pour une décolonisation des savoirs et des méthodes anthropogéographiques dans l'aire océanienne* [habilitation à {diriger} des {recherches} en {géographie}, Université de Bretagne Occidentale]. <https://cnrs.hal.science/LETG/tel-04846987v1>
- Rigg, J. (2007). *An Everyday Geography of the Global South*. Taylor & Francis.
- Saarinen, T. F. (1988). *Advantages and disadvantages of using sketch maps to explore images of the world*. Sydney.
- Tourelle, E. (2016). Cartes mentales et autres techniques projectives visuelles. In *Les outils qualitatifs en géographie* (Armand Colin, p. 117-141). Armand Colin.

Annexes

Informations de session

setting	value
version	R version 4.5.2 (2025-10-31)
os	Fedora Linux 43 (Workstation Edition)
system	x86_64, linux-gnu
ui	X11
language	(EN)
collate	fr_FR.UTF-8
ctype	fr_FR.UTF-8
tz	Europe/Paris
date	2026-03-05
pandoc	3.6.4 @ /usr/bin/ (via rmarkdown)
quarto	1.8.25 @ /usr/lib/rstudio/resources/app/bin/quarto/bin/quarto

package	ondiskversion	source
geodata	0.6.6	CRAN (R 4.5.2)
knitr	1.50	CRAN (R 4.5.0)
mapiso	0.3.0	CRAN (R 4.5.0)
mapsf	1.0.0	CRAN (R 4.5.1)
sf	1.0.23	CRAN (R 4.5.2)
terra	1.8.86	CRAN (R 4.5.2)