

## **ANALYSES FOCALISEES SUR DES TERMES D'INTERET VISANT A DECRIRE QUI TRAVAILLE SUR QUOI ET COMMENT**

---

L'équation de recherche présentée ci-dessus en section 1.2. a permis de constituer un corpus de 25 980 résultats dans la base Scopus (interrogée le 6 mai 2019). Ce corpus couvre donc une période allant du 01/01/1996 au 05/05/2019, et l'on s'y référera ci-après via l'indication « janvier 1996 - avril 2019 ». Il a été téléchargé sous la forme d'une liste de 25 980 notices de documents au format RIS et a été analysé avec CorText.

Comme indiqué en introduction de ce rapport, le volume de ce corpus (en termes de nombres de notices bibliographiques qui le constituent) ne diffère que de 0,06% par rapport au corpus analysé directement sur Scopus le 31/01/2020 (analyses présentées dans la partie 2 ci-dessus). De plus, comme nous l'avons vu ci-avant (partie 3), les analyses portant sur les auteurs et les pays les plus publiants au sein de ce corpus téléchargé le 06/05/2019 montrent eux-aussi que l'on peut considérer que les caractéristiques générales (présentées ci-avant, section 2.2) sont les mêmes.

### **4.1 OBJECTIF ET METHODE DE CONSTITUTION D'UNE CLASSIFICATION DE TERMES D'INTERET**

La raison pour laquelle une classification de « termes d'intérêt »<sup>27</sup> a été réalisée est qu'une telle classification permet de focaliser les analyses sur certains groupes de termes, avec différents niveaux de détail. Dans le cas présent, elle nous permettra d'analyser l'évolution temporelle du nombre de documents traitant de tel ou tel thème, avec différents niveaux de granularité dans l'analyse, et, dans une certaine mesure, de visualiser « qui travaille sur quoi et comment ». La classification sert à la plateforme à choisir les termes à représenter sur les visualisations. Elle permet donc de produire une visualisation sur mesure, avec uniquement les termes d'intérêts, et leur interrelation. L'application de la classification ne biaise pas le corpus, puisque les données s'appliquant aux termes choisis et à leurs relations restent les mêmes. La structure sémantique sous-jacente est inchangée. Seul est adaptée la visualisation de ces termes et relations, puisque seuls ceux d'intérêt selon la classification sont représentés.

La liste des termes d'intérêt a été élaborée au fil d'un travail collectif associant Olivia Roth-Delgado (ANSES), Olivier Merckel (ANSES) et Aurélien Féron (LISIS), et visant d'une part à alimenter la liste des termes d'intérêt, et d'autre part à définir différents niveaux de hiérarchisation au sein de la liste, en familles et sous-familles de termes.

Deux démarches ont été employées conjointement pour compléter la liste :

- une extraction des termes les plus pertinents<sup>28</sup> de notre corpus a été réalisée avec le logiciel CorText Manager. (Cette extraction a porté sur les titres, les résumés, et les mots-clés associés aux documents.) Une liste d'environ 1500 termes ainsi extraits du corpus a été présentée aux deux agents de l'ANSES, qui ont sélectionné tous les termes qui leur paraissaient pertinents vis-à-vis du cadre de notre étude (les productions scientifiques portant sur l'exposition aux RF

---

<sup>27</sup> Rappelons que l'on entend par « terme », ici et dans l'ensemble de ce rapport, aussi bien des mots ou acronymes seuls que des expressions constituées de plusieurs mots.

<sup>28</sup> Pour des informations sur les critères utilisés et les calculs opérés pour extraire les termes « les plus pertinents », cf. <https://docs.cortext.net/lexical-extraction/>, section « Technical description »

et sur leurs effets biologiques et sanitaires) et qui qualifie d'une manière ou d'une autre ce sur quoi travaillent les auteurs de notre corpus<sup>29</sup>.

- d'autres termes ont également été ajoutés, sur proposition des deux agents de l'ANSES, ou sur suggestion d'Aurélien Féron validée par ces derniers, à partir de leurs questionnements, de leurs connaissances de la littérature et des débats touchant à la thématique de l'étude, ou encore suite à la consultation de divers documents dans le but de compléter et hiérarchiser les familles et sous-familles de termes.

## **4.2 INDICATIONS GENERALES SUR LA CLASSIFICATION DES TERMES**

La liste ainsi constituée contient 480 « termes d'intérêts », répartis en sept familles qui, pour certaines sont elles-mêmes composées de sous-familles.

Cette section donne quelques indications générales sur ce que contient cette liste de termes d'intérêts et sur la façon dont la classification est organisée.

Le tableau présentant l'ensemble de la classification des termes d'intérêts est présenté en annexe. Il présente également le détail des « formes » lexicales (ou autrement dit les chaînes de caractères) recherchées dans le corpus pour chacun des « termes d'intérêt ». Par exemple : pour le terme d'intérêt « RFID », CorText, étant donné la liste qui lui a été fournie, recherche dans le corpus les chaînes de caractères suivantes : « RFID », « radio frequency identification » « radio-frequency identification ». Ainsi, lorsqu'il est écrit ci-après, par exemple, « les documents comportant le terme "RFID" ... », il s'agit d'une simplification pour dire « les documents comportant au moins une des chaînes de caractère parmi « RFID », « radio frequency identification » et « radio-frequency identification » ... ».

Les sept familles sont les suivantes :

- Technologies
- Fréquences / types d'ondes
- Effets biologiques et sanitaires
- Entités biologiques
- Notions liées aux modalités d'exposition et aux normes de contrôle des champs électro-magnétiques
- Types d'études
- Organisations / Programmes de recherche

Certaines de ces sept familles, comme cela a été rapidement indiqué, contiennent elles-mêmes des sous-familles (que l'on appellera aussi « thèmes ») avec un nombre variable de niveaux hiérarchiques selon les familles. Par exemple, la famille « Effets biologiques et sanitaires » ne contient que deux niveaux hiérarchiques différents : le niveau le plus détaillé

---

<sup>29</sup> Notons cependant que le terme « radiofrequency » (et les différentes formes jugées équivalentes pour notre analyse : radiofrequencies, radio-frequency, radio-frequencies, etc.) n'a pas été intégré à la liste des termes puisque qu'il s'agit de l'élément le plus fondamental pour notre corpus, l'élément théoriquement commun à tous les documents – autrement dit il ne nous apprendrait rien concernant la question « qui travaille sur quoi », au sein de ce corpus.

(E1), qui contient 151 termes ; et un niveau intermédiaire (E2) pour lequel ces 151 termes sont regroupés au sein des 9 sous-familles suivantes :

- Cancer/tumeur/néoplasme
- Effets cellulaires
- Effets sur le développement
- Électrosensibilité / électrohypersensibilité
- Effets généraux
- Effets génotoxiques
- Effets neurologiques
- Effets thermiques
- Autres effets

La famille « Technologies de télécommunications », quant à elle, est organisée en 6 niveaux hiérarchiques différents, du plus détaillé au plus général (T1 à T6 : cf. annexe).

Comme cela a également été brièvement évoqué ci-dessus, l'intérêt d'une part d'avoir conçu une classification des termes ainsi organisée en famille, et d'autre part d'avoir défini différents niveaux hiérarchiques au sein de ces familles est de disposer des deux choix suivants pour chacune des analyses produites à partir de cette classification de termes :

- produire des analyses qui portent sur toutes ces familles, ou seulement sur certaines d'entre elles
- pour une analyse donnée : régler le niveau de détail des données visualisées pour chaque famille (par exemple faire apparaître les 151 termes de la liste des effets ou seulement les neuf sous-familles mentionnés ci-dessus).

#### **4.3 APPORTS ET LIMITES DE L'UTILISATION DE LA LISTE DE TERMES A DES FINS DE QUANTIFICATION**

Comme indiqué brièvement ci-dessus, la façon dont la liste des termes d'intérêt est exploitée avec CorText Manager est la suivante : celui-ci recherche les différentes « formes » correspondantes à chaque terme dans le corpus et incrémente le nombre d'occurrences du terme à chaque fois qu'il en trouve une. Notons au passage que pour les analyses présentées ci-après, il a été demandé au logiciel de ne compter qu'une occurrence par document, de façon à ce que les nombres donnés pour l'occurrence d'un terme ou d'une famille de termes dans le corpus correspondent non pas au nombre de fois que le terme ou la famille apparaît dans le corpus mais au *nombre de documents* dans lesquels apparaît ce terme ou cette famille.

Quantifier ainsi l'occurrence des termes d'intérêt ou des thèmes correspondant dans le corpus permet, via les analyses basées sur ces calculs d'occurrence, de s'intéresser à la prédominance ou au contraire à la faible présence de ces termes ou thèmes dans notre corpus.

Les limites de cette méthode de quantification sont essentiellement liées au fait que les termes qui permettraient de caractériser une étude donnée ne figurent pas tous nécessairement dans le titre, le résumé ou les mots-clés associés à un document. Pour autant, ces éléments sont censés livrer les principales informations quant à ce dont traite le

document, et en particulier, pour le domaine de recherche que nous étudions ici, le type d'étude dont il s'agit, ainsi que les technologies, les fréquences/types d'ondes, les effets biologiques et sanitaires, les entités biologiques, et les notions mobilisées et étudiées. Et partant du comptage des termes retrouvés dans ces informations associées à chaque document, cette méthode de quantification permet de retracer les évolutions importantes dans le contenu sémantique du corpus et de détecter des liens forts entre ces termes que contiennent les documents et leurs auteurs.

#### 4.4 TERMES JUGES INTERESSANTS MAIS ABSENTS DU CORPUS

Notons tout d'abord que 37 des termes figurant dans notre liste de termes d'intérêts n'apparaissent pas dans le corpus. Comme le montre le tableau suivant, on trouve parmi ceux-ci principalement des termes qui se réfèrent à des technologies, mais aussi d'autres qui se réfèrent à des organisations (notamment des instances d'expertise) ou des programmes de recherches, ou encore des notions liées aux modalités d'exposition, à des effets biologiques et sanitaires, et à des types de fréquences. (Pour mémoire : cf. Annexe A.4 pour le détail des formes lexicales recherchées correspondant à ces termes d'intérêts non trouvés dans le corpus).

Technologie	Organisation/ Programmes de recherche (Pays)	Notions liées aux modalités d'exposition	Effets biologiques et sanitaires	Fréquences / types d'ondes
<i>(Nombre de termes non trouvés)</i>				
<i>(20)</i>	<i>(11)</i>	<i>(3)</i>	<i>(2)</i>	<i>(1)</i>
2.75G	Berenis (CHE)	digital computation	general metabolism	tremendously high frequency
3.75G	EFHRAN (EU)	member SAR	small cell lung tumor	
3.9G	JEIC (JPN)	trunk SAR		
4G+	Jülich (DEU)			
5G-NR	MTHR (UK)			
C-450	OFEV (CHE)			
DataTAC	OFSP (CHE)			
ecoDECT	RIVM (NLD)			
eMBB	SCHEER (EU)			
handphone	SEAWIND (EU)			
Hicap	TNO (NLD)			
HSCSD				
IMT-2020				
LTE-M/MTC				
LW broadcast				
Mobitex				
MW broadcast				
Radiocom-2000				
tetrapole				
uRLLC				

Tableau 4 : Tableau présentant les termes figurant dans la liste des termes d'intérêts et non trouvés dans le corpus

## 4.5 ANALYSES TEMPORELLES

### 4.5.1 Analyses focalisées sur les termes se rapportant à des technologies

On s'intéressera dans cette section à l'évolution, au sein du corpus, du nombre de documents traitant d'une technologie donnée<sup>30</sup>, pour l'ensemble de la période 1996-2018<sup>31</sup>. Toutes ces technologies concernent les RF, sauf « power lines » (lignes électriques) que nous avons fait figurer dans la liste des termes d'intérêts parce que ce terme s'est avéré fréquent dans le corpus.

Avant toute analyse, notons que certains termes qui apparaissent dans les figures présentées dans cette section sont en fait des termes génériques qui en rassemblent d'autres (dans le respect bien sûr de la classification évoquée ci-dessus). En ce sens, on parlera, dans l'interprétation de ces figures, de thèmes ou sous-familles, plutôt que de *termes* (sauf quand, précisément, il s'agira de termes qui ne servent pas à regrouper un ensemble de termes – autrement dit quand il sera question d'un terme qui ne compte que pour lui-même).

Voyons donc d'abord sur quels regroupements de termes se basent les figures présentées dans cette section<sup>32</sup>.

#### 4.5.1.1 Précisions sur les regroupements de termes utilisés dans cette section

Les deux tableaux ci-dessous présentent les termes génériques utilisés pour rassembler plusieurs termes d'intérêts, et ce que signifient les abréviations correspondantes.

Comme indiqué ci-avant, l'annexe A4 présente en complément l'ensemble des formes lexicales recherchées pour un « terme d'intérêt » donné. Les tableaux ci-dessous ne présentent que les « formes principales », c'est-à-dire la forme lexicale choisie pour être celle qui apparaît dans les graphiques produits. S'ils ne font que restituer ici une partie des informations présentées dans l'annexe A4, il paraît important, pour cette toute première

---

<sup>30</sup> Notons que l'indexation des termes d'intérêts à chacun des documents du corpus a été opérée en se basant non seulement sur les mots contenus dans son titre et son résumé, mais aussi sur les mots-clefs qui y sont associés pour la raison suivante : la liste des mots-clefs associés à un document donné sur la base Scopus peut contenir aussi bien des mots-clefs qui ont été attribués par les auteurs que des mots-clefs correspondant à différents index institutionnels (comme par exemple « GEOBASE Subject Index » et/ou « EMTREE medical terms ») ; or, il arrive que figurent parmi ces mots-clefs des termes qui ne figurent pas dans le titre ou dans le résumé du document, auquel cas ces mots-clefs apportent une indication supplémentaire sur les thématiques ou objets de recherches sur lesquels portent l'article, donc intéressante à exploiter ici.

<sup>31</sup> Les premiers mois de l'année 2019 (janvier-avril) qui figurent dans notre corpus ne sont ici pas pris en compte, de façon à visualiser des informations qui ne concernent que des périodes d'une année complètes.

<sup>32</sup> Comme cela apparaît dans les tableaux présentés ci-après, "mobile phone" figure dans les analyses de cette section 4.5.1 en tant que thème (regroupant les termes d'intérêt "mobile phone", "smartphone", "cellular phone", "cell phone", "handphone"). De même, "3G" figure dans cette section en tant que thème (regroupant les termes d'intérêts "3G", "CDMA", "UMTS", "TD-SCDMA", "HSCSD", "HSPA", "IMT-2000", etc. - cf. tableau), tandis que dans la section 4.5.2., on analyse plus en détail les occurrences des différents termes d'intérêts regroupés dans ce thème, c'est à dire que l'on fait apparaître les niveaux d'occurrence du terme d'intérêt "3G" et de ces autres termes apparentés à cette génération de technologie ("CDMA", "UMTS", "TD-SCDMA", "HSCSD", "HSPA", "IMT-2000", etc.).

analyse, de rappeler précisément et de manière résumée, l'ensemble des termes qui "se cachent" derrière les thèmes qui apparaissent sur les figures.

Thème apparaissant dans les figures ci-dessous (T3)	Termes d'intérêt rassemblés (T1)
mobile phone	mobile phone
	smartphone
	cell(ular) phone ( <i>c'est-à-dire « cell phone » et « cellular phone »</i> )
	handphone
	handset
	telephone set
mob./wirel. dev.	mobile devices
	wireless devices
radio broadcast	radio broadcast
	FM broadcast (frequency modulation broadcast)
	AM broadcast (amplitude modulation broadcast)
	SW broadcast (shortwave broadcast)
	MW broadcast (mediumwave broadcast)
LW broadcast (longwave broadcast)	
radioph./WT	radiophone
	WT (walkie-talkie)
WPT/WET/rect.	WPT (Wireless Power Transmission)
	WET (Wireless Energy Transmission)
	rectenna

Tableau 5 : Tableau (1/2) présentant les termes qui sont utilisés dans les figures suivantes comme des termes génériques regroupant différents autres termes d'intérêts (conformément à la classification présentée en annexe).

Une précision concernant le tableau suivant : le principal critère qui a été appliqué pour décider du regroupement/non regroupement de différentes normes de téléphonie mobile correspond à une recherche de cohérence sur le plan sanitaire. Ainsi, ont été regroupé des technologies qui correspondent aux mêmes types de fréquences et types de modulation, et renvoient donc dans une certaine mesure à un même type d'exposition. Nous avons dérogé à ce critère lorsque cela était susceptible de faire émerger une information intéressante, liée à une spécificité du terme que l'on choisissait de ne pas regrouper avec les autres : par exemple, nous n'avons pas regroupé TD-SCDMA avec les autres CDMA parce que selon wikipédia il s'agit d'une technologie spécifiquement utilisée en Chine.

Thème (T3)	Termes d'intérêt rassemblés (T1)	Sens des abréviations
1G	1G	first generation
	AMPS	Advanced Mobile Phone System <i>ou</i> Advanced Mobile Phone Service ; cette catégorie contient aussi N-AMPS (N pour Narrowband)
	TACS	Total Access Communication System <i>ou</i> Total Access Communication Service
	Radiocom-2000	
	NMT	Nordic Mobile Telephone
	C-450	C-450 <i>ou</i> Radio Telephone Network C
	Hicap	Hicap
	Mobitex	Mobitex
	DataTAC	DataTAC
2G	2G	second generation
	2.5G	
	2.75G	
	GSM	Global System for Mobile Communication
	CSD	Circuit Switched Data
	GPRS	General Packet Radio System <i>ou</i> General Packet Radio Service
	EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
	TDMA	Time Division Multiple Access
	IS-95	Interim Standard 95
	D-AMPS	Digital-AMPS (cf. ci-dessus pour AMPS)
	3G	3G
3.5G		
3.75G		
3.9G		
CDMA		Code Division Multiple Access ; cette catégorie contient aussi CDMA2000, WCDMA, cdmaOne, cdma1x
UMTS		Universal Mobile Telecommunications System
TD-SCDMA		Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
HSCSD		High Speed Circuit Switched Data
HSPA / HSDPA / HSUPA / HSPA+		High Speed Packet Access ; cette catégorie contient aussi HSDPA (D pour Downlink), HSUPA (U pour Uplink) et HSPA+
IMT-2000		International Mobile Telecommunications 2000
4G	4G	fourth generation
	4G+	
	LTE	Long Term Evolution

	LTE-advanced	Long Term Evolution Advanced
	IMT-advanced	International Mobile Telecommunications Advanced
	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
5G	5G	fifth generation
	5G-NR	5G New Radio
	LTE-M/MTC	LTE-Machine ou LTE-Machine-Type-Communication
	NB-IoT	Narrowband Internet of Things
	IMT-2020	International Mobile Telecommunications 2020
	eMBB	enhanced Mobile Bbroadband
	mMTC	massive Machine Time Communication
	uRLLC	ultra Reliable Low Latency Communication
	mMIMO	massive Multiple Input Multiple Output
	beam forming	

*Tableau 6 : Tableau (2/2) présentant les termes qui sont utilisés dans les figures suivantes comme des termes génériques regroupant différents autres termes d'intérêts (conformément à la classification présentée en annexe).*

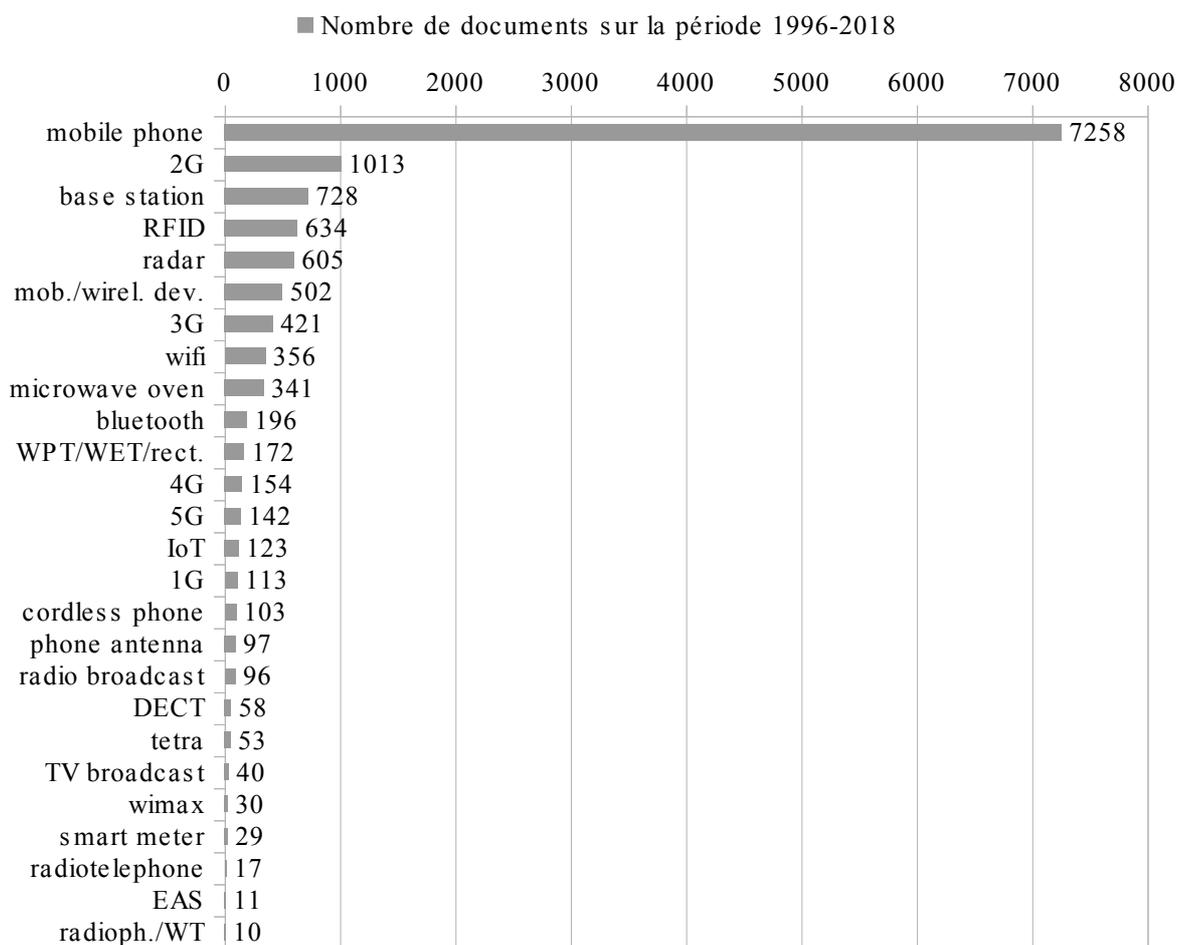
**Autres abréviations utilisées dans les figures suivantes :**

DECT = Digital Enhanced Cordless Telecommunications

EAS = Electronic Article Surveillance

IoT = Internet of Things

#### 4.5.1.2 Occurrence sur l'ensemble de la période 1996-2018

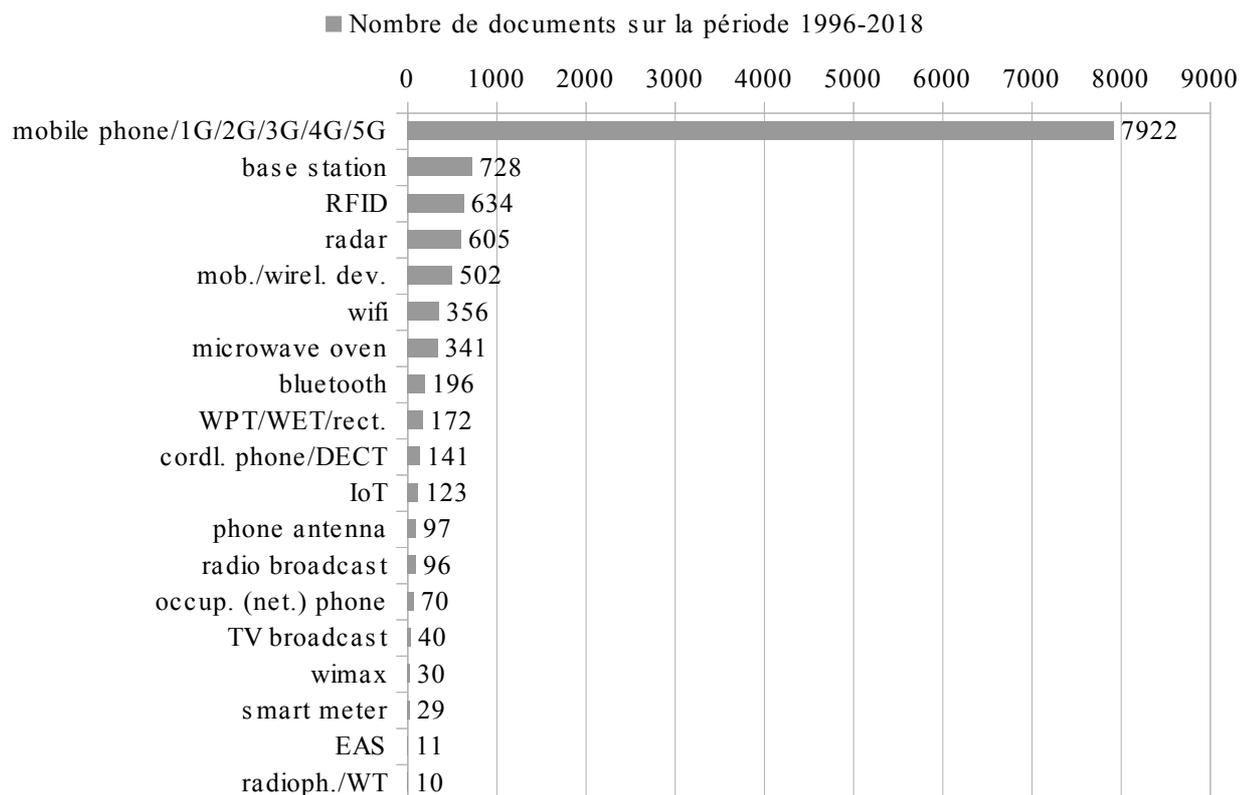


Sur l'ensemble de la période 1996-2018, le thème « mobile phone » (lorsqu'il ne comprend, outre le terme « mobile phone » lui-même, que des synonymes tels que « smartphone », « cell phone » et « cellular phone »...) est de très loin le plus traité au sein du corpus, devant des thèmes connexes (sur le plan matériel et sémantique) comme « 2G » et « base station », mais aussi devant d'autres thèmes tels que « RFID » et « radar ».

D'autres thèmes/termes apparaissent en revanche extrêmement peu dans le corpus. Par exemple les thèmes « radiophone<sup>33</sup> /walkie-talkie » et « Electronic Article Surveillance » n'apparaît respectivement que dans 10 et 11 documents. Et ce ne sont pas les seuls thèmes à apparaître peu. Dans le tableau suivant, les différentes générations technologiques de téléphonie mobile sont regroupées<sup>34</sup>, pour mieux faire apparaître le contraste entre cette catégorie technologique (téléphonie mobile) et les autres.

<sup>33</sup> En anglais, « radiophone » est un synonyme de « walkie-talkie » (cf. par exemple <https://www.wordreference.com/enfr/radiophone>).

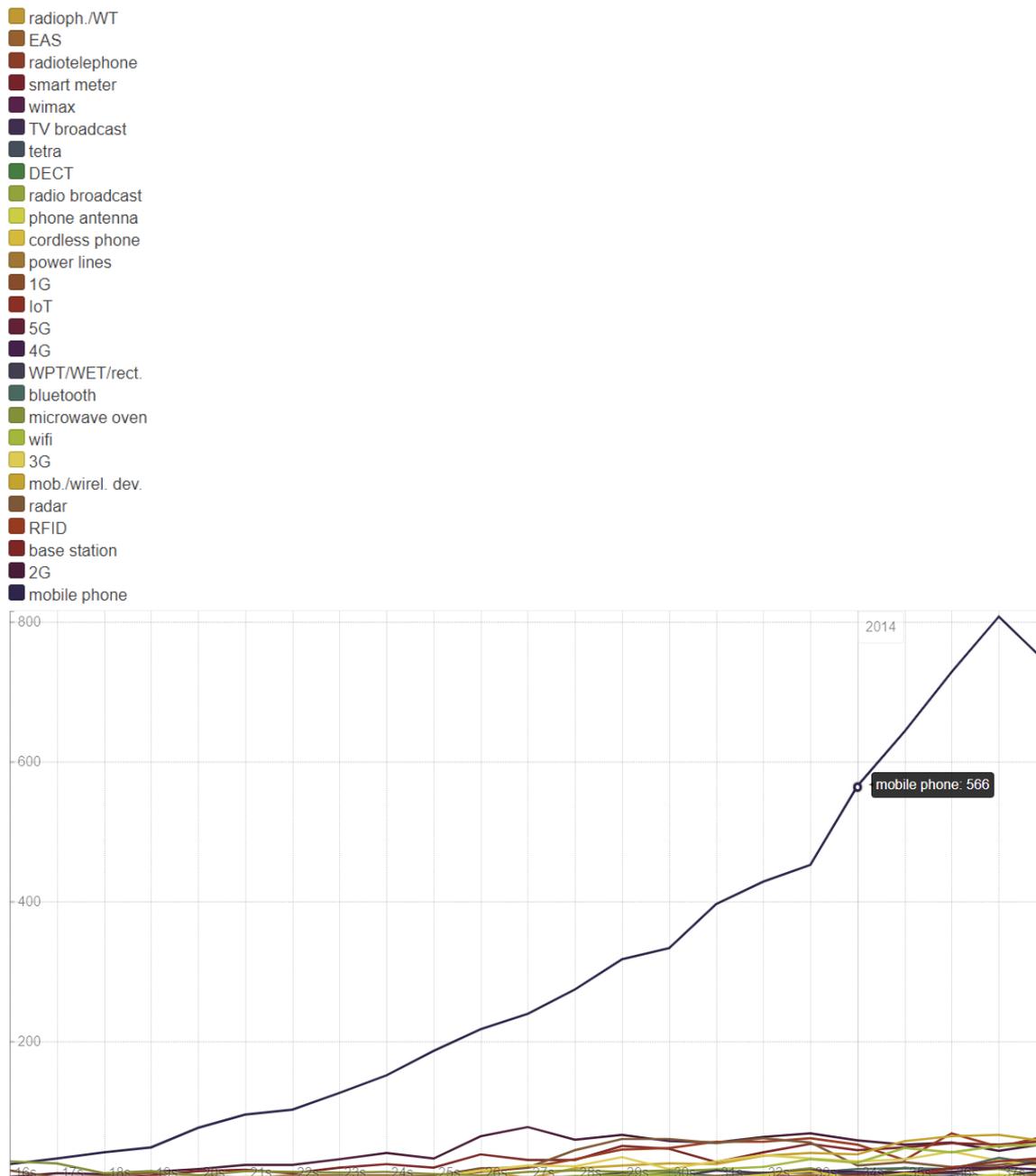
<sup>34</sup> Dans ce tableau, le nombre d'occurrences de la catégorie téléphonie mobile en général (y compris 2G, 3G, 4G) est moins élevé que le total des occurrences de « mobile phone », 2G, 3G, 4G dans le tableau précédent, car dans nombre d'articles, ces différents termes apparaissent ensemble. Un document contenant "mobile phone" et "4G" par ex. est comptabilisé deux fois dans le premier tableau (à la ligne mobile phone, et à la ligne 4G), alors qu'il ne l'est qu'une fois dans le second tableau.



Les technologies autres que « mobile phone » n'apparaissent que dans un faible nombre de documents, alors même qu'elles sont aujourd'hui d'usage commun : « bluetooth », « cordless phone/DECT », « Wireless Power Transmission / Wireless Energy Transmission / rectenna » (moins de 200 documents) ; « radio broadcast », « occupational (network) phone » qui comprend « radiotelephone » et « tetra » (moins de 100 documents) ; « TV broadcast », « wimax », « smart meter », et « radiophone/walkie-talkie » et « Electronic Article Surveillance », déjà évoqués ci-dessus (moins de 50 documents).

#### 4.5.1.3 Analyse temporelle comparée

La figure suivante montre, pour chacun des 26 thèmes se rapportant à des technologies (évoqués ci-dessus), l'évolution du nombre de documents correspondant sur toute la période que couvre notre corpus (1996–2018). Dans la légende, le nombre de documents correspondant à ces thèmes va croissant à mesure que l'on descend dans la liste, « mobile phone » étant, comme on l'a vu, le thème le plus traité dans le corpus :



Cette figure permet de compléter le constat précédent, selon lequel « mobile phone » est, parmi les thèmes qui se réfèrent aux technologies au sein de notre corpus, de très loin le plus présent : elle permet de visualiser le fait que l'évolution temporelle du nombre de documents traitant de ce thème correspond à la dynamique temporelle observée sur le volume du corpus entier (présentée en section 2.2.1). En effet, le nombre de documents traitant de ce thème, tout comme le nombre de documents publiés dans le champ de recherche étudié, ne cesse d'augmenter de 1996 à 2017 et fléchit légèrement en 2018<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> On peut supposer que l'ensemble des articles publiés dans des numéros de revue datés de 2019, n'étaient pas encore tous incorporés dans Scopus à la date d'extraction des références (mai 2019). L'intégration de références, leur vérification et nettoyage, etc. se fait en décalage temporel avec la date de publication par les revues. De plus, certains numéros de revue de la fin de l'année N peuvent être publiés, en pratique, pendant l'année N+1.

A titre indicatif, le nombre *annuel* de documents publiés traitant du thème « mobile phone » dépasse le seuil des 500 entre 2013 et 2014 et a atteint 808 en 2017.

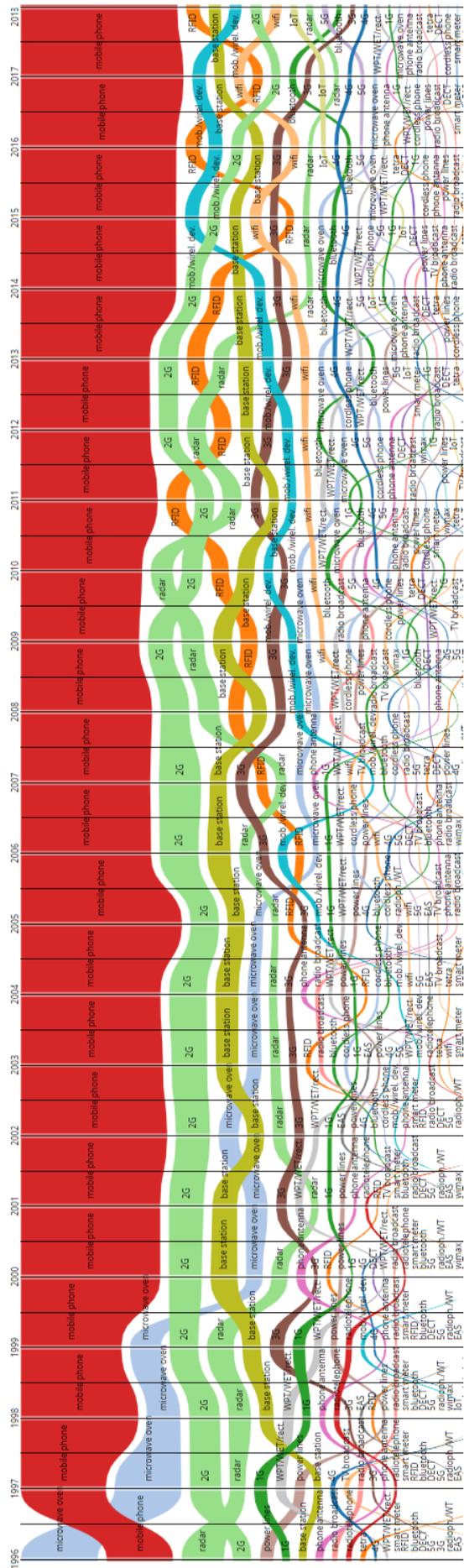
Les figures ci-dessous permettent de visualiser quant à elle deux informations en même temps :

- **l'évolution de la *proportion*** d'un thème donné, *par rapport aux autres* thèmes figurant sur la même figure (ici l'épaisseur du trait ne représente pas le nombre de documents correspondant au thème indiqué sur le trait, mais bien *la part* de ce thème *par rapport aux autres* thèmes représentés sur la même figure),
- **le classement** des thèmes les uns par rapport aux autres, selon leur proportion dans le corpus par rapport aux autres thèmes représentés sur la figure.

Commençons par une vue panoramique sur l'ensemble de la période :

---

Il faut donc interroger Scopus tard dans l'année N+1 pour avoir une vision exhaustive de ce qui a été publié pendant l'année N.



Sans surprise par rapport à ce qui a déjà été constaté sur les figures précédentes, parmi les technologies figurant dans notre liste de thèmes/termes d'intérêt, le thème « mobile phone » s'avère être dominant dans notre corpus pendant presque toute la période étudiée (1996-2018). L'année 1996 fait cependant exception : pour cette année-là, le thème « microwave oven » est davantage présent.

Si le thème « mobile phone » n'est qu'en 2<sup>ème</sup> position dans le classement en 1996, sa part au sein du corpus augmente très fortement entre 1996 et 2000 (elle double presque). Cette dynamique n'est cependant pas régulière au long de ces quatre années : on observe une forte augmentation entre 1997 et 1998, puis une diminution entre 1998 et 1999 avant une nouvelle forte augmentation entre 1999 et 2000. Après 2000 (et donc jusqu'en 2018), la place prise au sein du corpus par le thème « mobile phone » par rapport aux autres présentés ici n'évolue que très peu. Cette proportion connaît deux augmentations, entre 2004 et 2005 et entre 2013 et 2014, tandis qu'elle s'avère légèrement réduite sur la période qui s'écoule entre 2005 et 2013 (en particulier en 2009 et 2010).

A part le thème « mobile phone », peu de thèmes sont traités de manière régulière dans les documents publiés entre 1996 et 2005. En effet, hormis les deux thèmes « microwave oven » et « radar » — non liés à « mobile phone » (sur le plan matériel et sémantique) — et les quatre thèmes « 2G » (deuxième génération), « base station », « 3G » (troisième génération), et « 1G » (première génération) — liés à « mobile phone » — la part de tous les autres thèmes présentés ici, en plus d'être faible, connaît de fortes variations. Le corpus constitué ne comporte pas les publications sur les technologies utilisant des RF, mais les publications portant sur ces technologies et sur des questions d'exposition aux radiofréquences ou d'effets biologiques et sanitaires. Par conséquent, l'apparition sur les figures présentées dans cette section, à un moment donné, d'une (« génération » de) technologie ne doit pas être interprétée comme le moment où commencent à paraître des publications portant sur cette technologie : il correspond au moment où ce thème commence à apparaître dans le domaine des recherches qui s'intéresse aux questions d'exposition aux radiofréquences et à leurs effets.

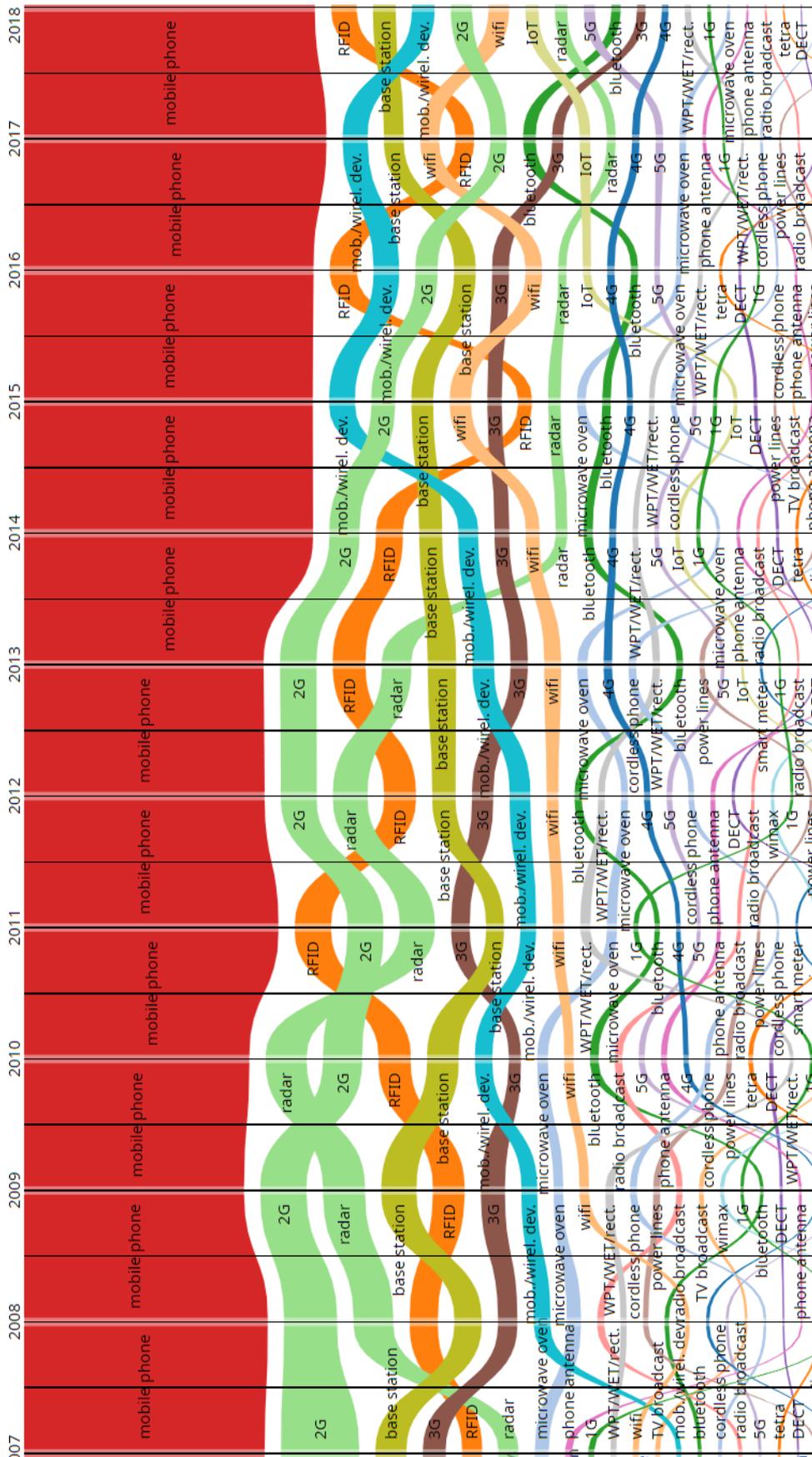


Parmi les thèmes qui ne font pas partie (sur les plans matériel et sémantique) de celui de la téléphonie mobile, seuls « microwave oven » et « radar » restent, sur la période 1996-2005, des thèmes qui apparaissent de manière relativement constante dans le corpus, par rapport aux autres thèmes présentés ici. Cependant, leur importance (en proportion par rapport aux autres thèmes) baisse assez nettement et de manière presque régulière tout au long de cette période, les reléguant derrière des thèmes directement liés à celui de la téléphonie mobile. En effet, « microwave oven » occupe une place moins importante que « 2G » et que « base station » à partir de l'année 2000 (et ce jusqu'en 2018, malgré un inversement ponctuel entre son classement et celui de « base station » en 2002). De même, « radar », 3<sup>ème</sup> thème dans le classement en 1996, voit sa part diminuer en 1997, puis augmenter légèrement en 1998 et 1999, et re-diminuer alors jusqu'en 2005, tandis que les thèmes « 2G » et « base station » prennent durablement des proportions supérieures, respectivement en 1997 et 2000.

A contrario, trois thèmes qui sont directement liés à la téléphonie mobile, s'imposent durablement pendant cette période 1996-2005. C'est le cas de « 2G » qui prend la 2<sup>ème</sup> place du classement en 1997 et la conserve presque sans interruption jusqu'en 2014, même après le lancement de la 3G ; et c'est aussi celui de « base station », dont la part croît particulièrement fortement entre 1996 et 2000, l'amenant à la 3<sup>ème</sup> place, autour de laquelle elle oscillera jusqu'en 2018. C'est également le cas de « 3G » : la part de ce thème croît elle aussi fortement entre 1996 et 1999, pour ensuite osciller brièvement puis diminuer légèrement jusqu'en 2005, avant de ré-augmenter en 2006 et 2007 et d'osciller à nouveau très légèrement jusqu'en 2016, date après laquelle elle diminue de nouveau plus nettement. En revanche, la part du thème « 1G », si elle oscille entre 1996 et 1999, diminue quant à elle nettement et durablement à partir de cette date.

Parmi les thèmes dont la part au sein du corpus oscille fortement pendant la période 1996-2005, certains finissent, tout en restant dominés par « mobile phone », par s'imposer durablement à partir de 2005.

C'est d'abord le cas du thème « RFID », dont la proportion, après de fortes oscillations jusqu'en 2005, va ensuite croissante au moins jusqu'en 2011 pour atteindre la 2<sup>ème</sup> place du classement, puis oscille à nouveau, avec une légère tendance à la baisse, tout en se maintenant entre les 2<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> thèmes le plus importants dans le corpus.



Si les parts respectives de nombreux thèmes restent faibles jusqu'en 2018, le thème « RFID » n'est cependant pas le seul à s'imposer durablement dans la deuxième moitié des années 2000. Quelques autres voient leur importance croître puis se maintenir, voire continuer de croître légèrement, et de manière relativement régulière après 2007. C'est le cas de « bluetooth » et « wifi » qui émergent très doucement à partir (respectivement) de 2001 et 2002, mais dont les parts forçissent à partir de 2010 et 2009. C'est également le cas de « mobile/wireless devices » qui, après d'importantes oscillations commençant dès 1998 et forçissant en 2005 et 2006, s'impose durablement à partir de 2008. En outre, la part du thème « 4G », après avoir elle aussi marqué de fortes oscillations, connaît à partir de 2010 une dynamique de croissance (faible) puis se maintient, tandis que celle du thème « Internet of Things », elle aussi à partir de 2010, marque une croissance légèrement plus forte et régulière. Enfin, l'évolution temporelle de la proportion du thème « 5G » ressemble d'abord à celle du thème « 4G », marquée par des oscillations relativement importantes jusqu'en 2013, pour ensuite connaître une croissance régulière similaire à celle du thème « Internet of Things ».

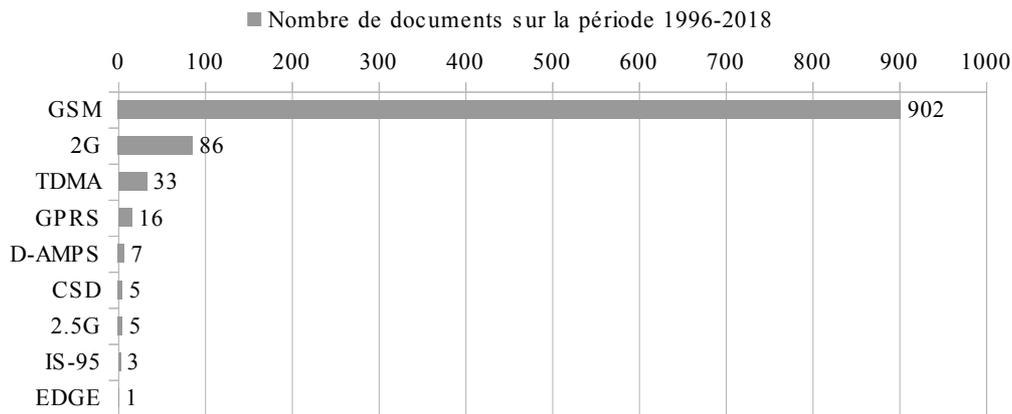
Enfin, les parts respectives des thèmes « microwave oven » et « radar » diminuent fortement, dès 2002 et de façon régulière pour le premier, et à partir de 2012 et de façon plus brutale pour le second.

#### 4.5.2 « Générations » de normes de téléphonie mobile

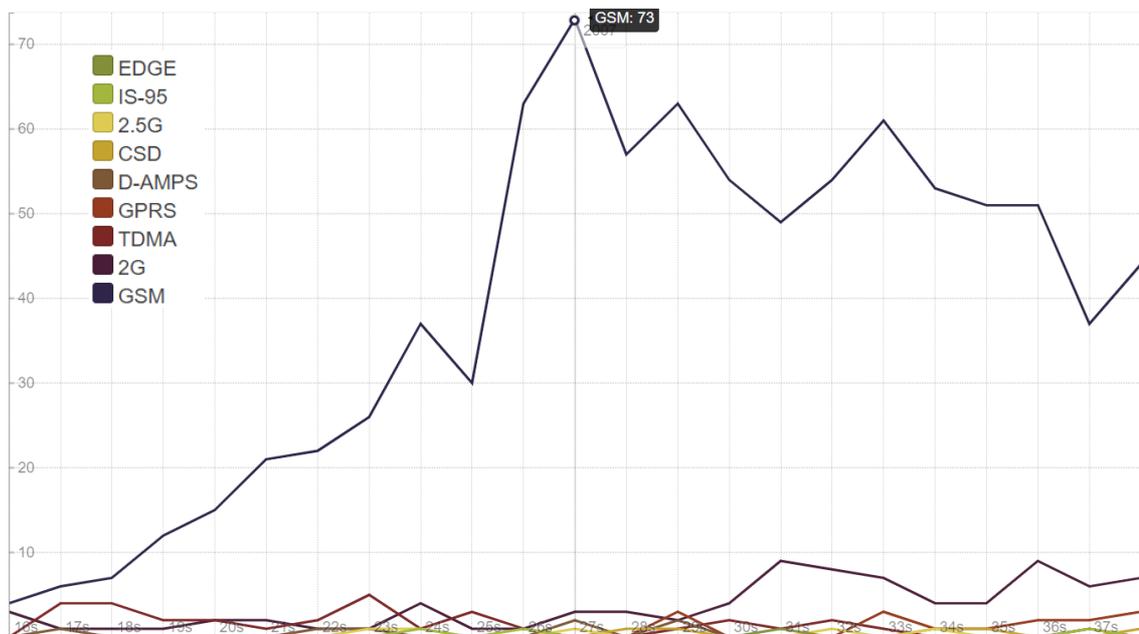
Comme indiqué ci-dessus via les tableaux présentés avant les figures, ce qui y apparaît comme des « générations » de technologie mobile regroupe une série de normes de téléphonie mobile. Les figures présentées ci-dessous visent à préciser quelles sont les normes, parmi celles que nous avons regroupées au sein d'une même « génération », qui apparaissent le plus, et selon quelle temporalité, dans notre corpus. Contrairement aux figures précédentes qui se basaient justement sur le regroupement des différentes normes au sein des différentes générations, ci-dessous, seules les occurrences de « 2G » et de « second generation » alimentent la catégorie « 2G » ; seules les occurrences de « 3G » et de « third generation » alimentent la catégorie « 3G », etc. Cette analyse permet d'indiquer dans quelle mesure les termes 2G, 3G, 4G et 5G sont utilisés en tant que tels dans le corpus, tout en précisant également le nombre d'occurrences d'autres termes qui sont apparentés à ces "générations", sur le plan technologique.

Parmi ces « générations », nous l'avons vu précédemment, c'est la « 2G » qui est la plus mentionnée dans le corpus (à hauteur de 1013 documents).

#### 4.5.2.1 2G

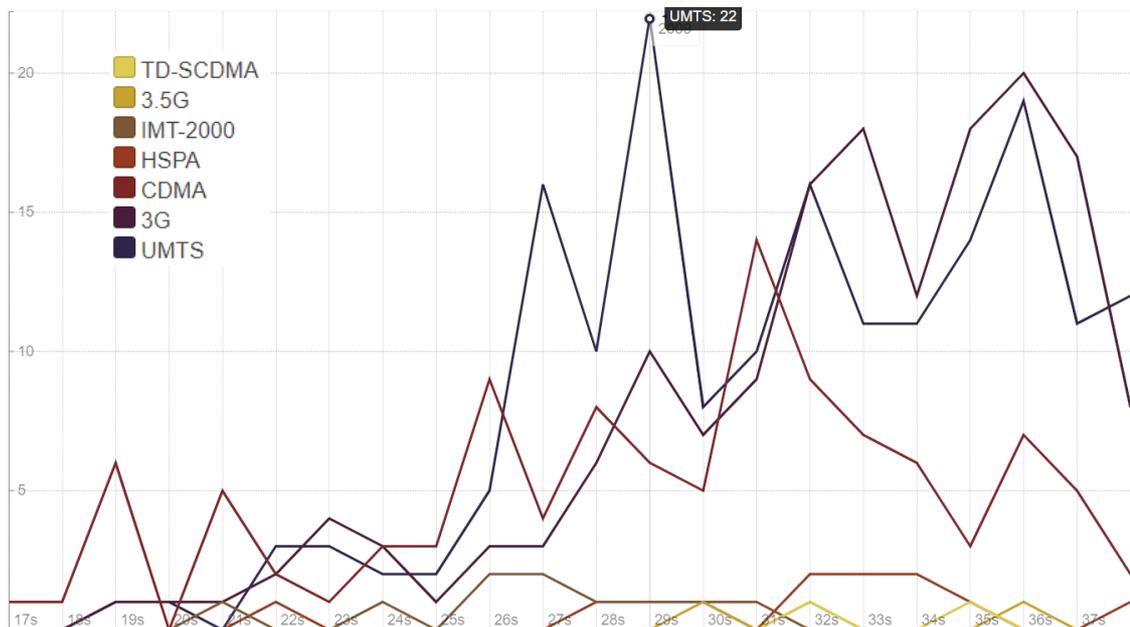
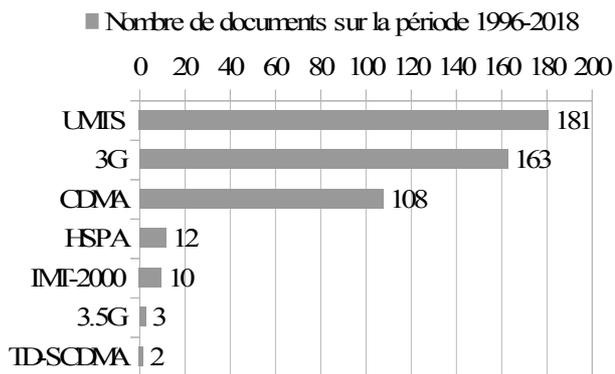


L'occurrence de EDGE peut paraître ici étonnamment basse, mais cela peut s'expliquer par le fait que cet acronyme correspondant également à un mot qui en anglais a son sens propre, le comptage des occurrences de ce mot n'aurait pas eu de sens, et la seule forme lexicale indexée pour la recherche dans le corpus est la forme développée de l'acronyme (« Enhanced Data Rates for GSM Evolution »).



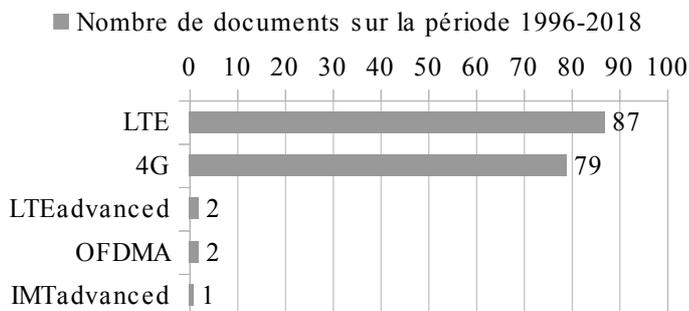
Il apparaît clairement sur ces deux figures que le terme qui alimente presque à lui seul le thème « 2G » n'est pas le terme « 2G » lui-même mais la norme GSM, que l'on retrouve dans 902 documents de notre corpus, et dont la présence au long de la période 1996-2018 atteint un pic en 2007, année où l'on trouve ce terme dans 73 documents. Les termes « TDMA », « GPRS », « D-AMPS », « CSD » et « IS-95 » ne contribuent que très faiblement.

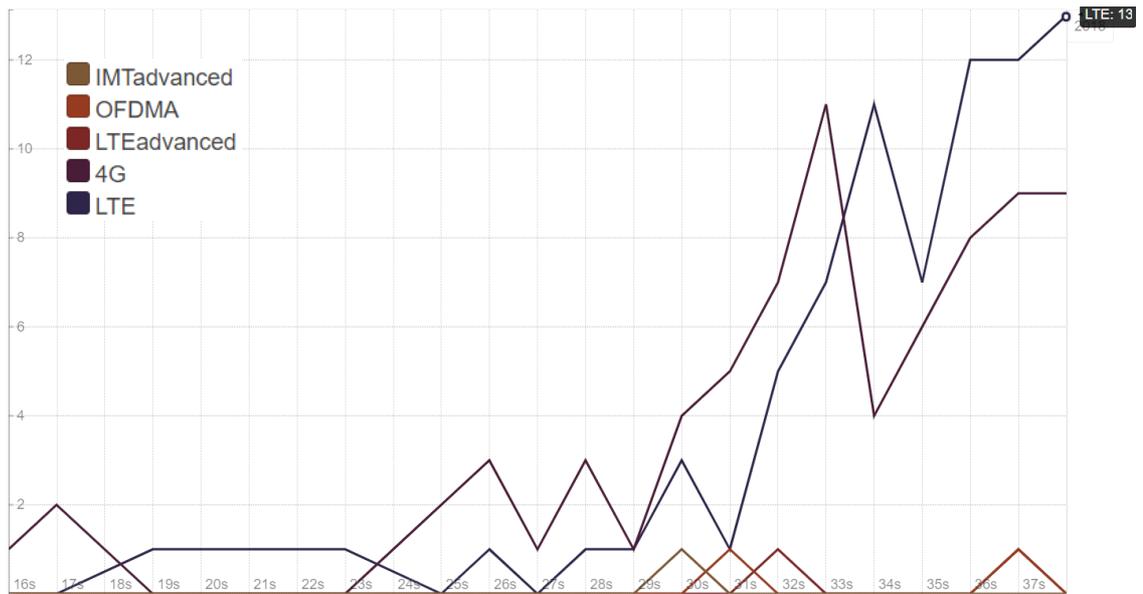
#### 4.5.2.2 3G



Parmi les termes que nous avons rassemblés dans notre classification dans le thème « 3G », ce sont les normes « UMTS » et « CDMA » qui totalisent le plus de documents (respectivement 181 et 108) sur la période 1996-2018, et les nombre de documents annuels mentionnant ces normes ont atteint leurs pics respectivement en 2009 (22 documents) et 2011 (14 documents).

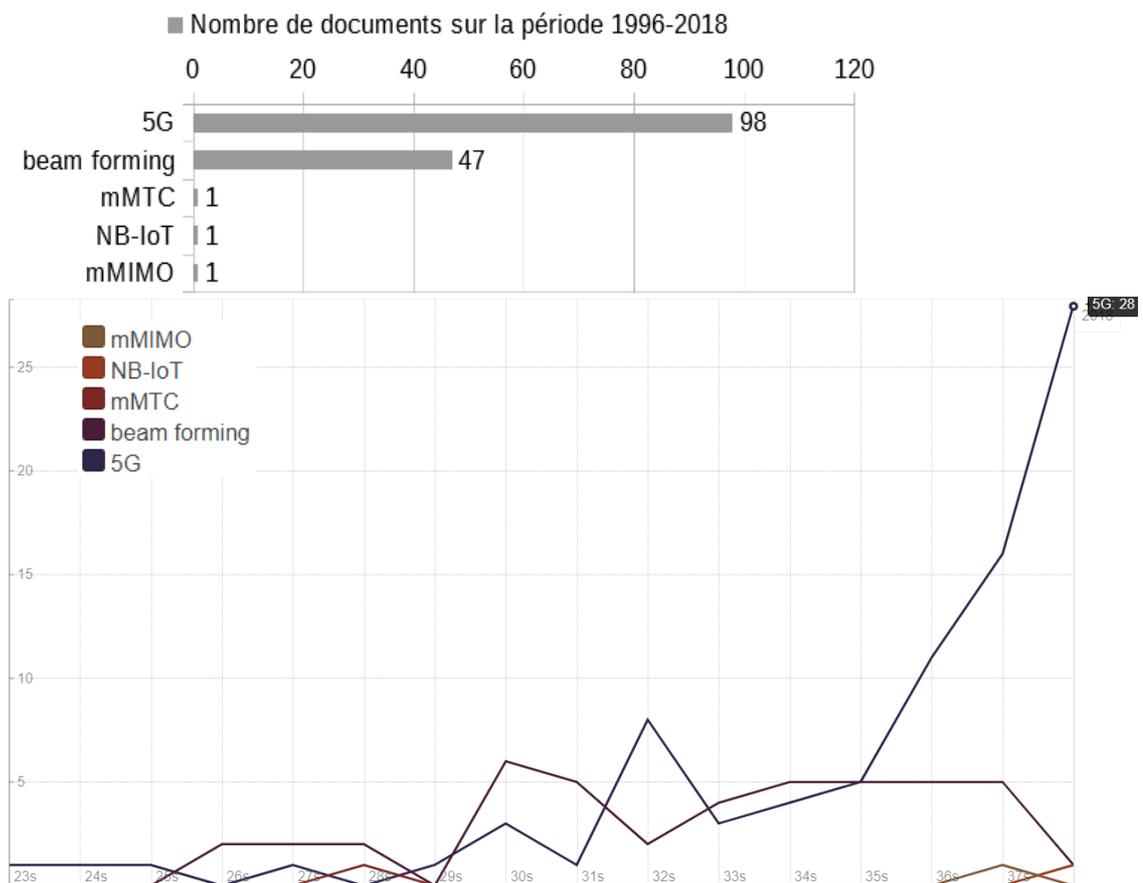
#### 4.5.2.3 4G





Concernant la 4G, c'est la norme « LTE » qui totalise le plus de documents (87) sur la période 1996-2018, avec un nombre de documents annuel atteint en 2018 (13).

#### 4.5.2.4 5G

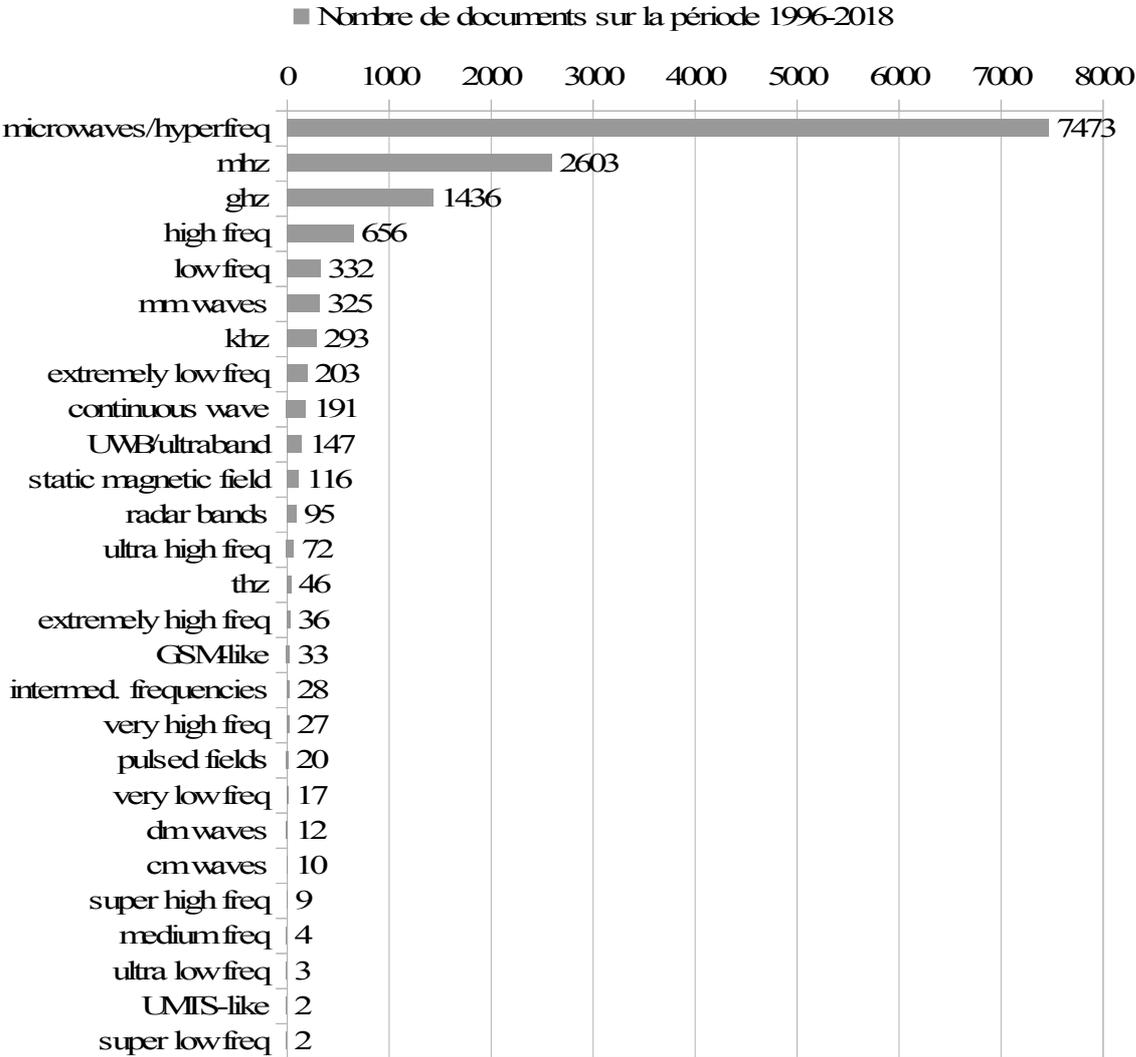


Contrairement aux autres cas présentés ci-dessus, c'est le terme « 5G » lui-même qui, parmi les autres termes que nous avons associés dans notre classification à cette « génération », est le plus présent au sein du corpus. Au moins deux hypothèses pourraient expliquer cela : 1) il se peut que certaines normes ou notions que les chercheurs associent à la 5G ne figurent pas

dans notre liste de termes, auquel cas il conviendrait de l’amender, 2) il se peut aussi que dans les années 2015-2018 (puisque c’est, comme on peut le voir sur cette figure, pendant cette période que le nombre de documents comportant ce « terme » augmente significativement), le terme « 5G » soit davantage évoqué dans les publications comme un élément de contexte ou un évènement à venir que comme un objet de recherche dont on étudierait les normes et les notions directement afférentes.

#### 4.5.3 Types de fréquences/de signal

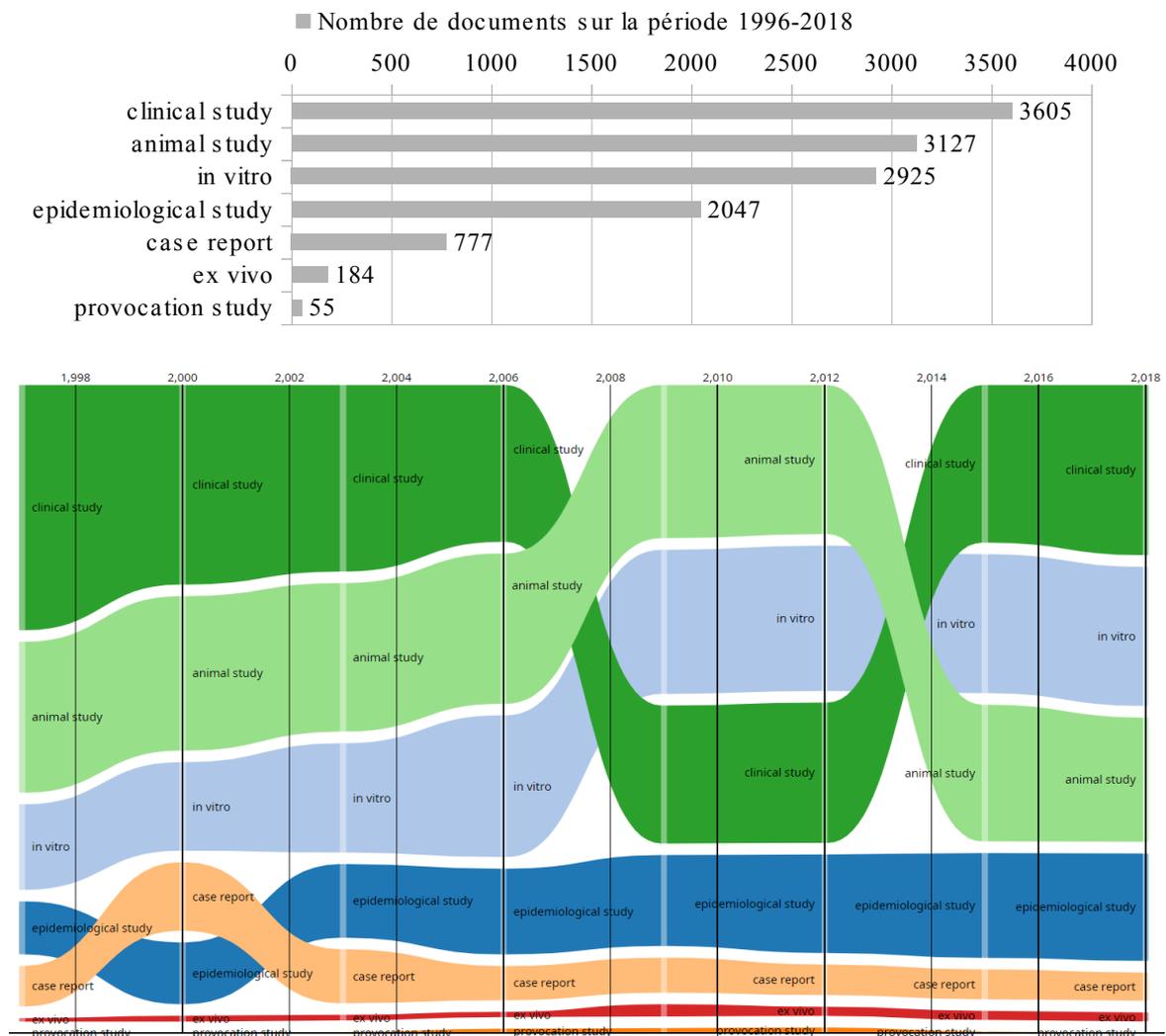
Pour consulter les correspondances entre les thèmes/termes visualisés dans cette section, la liste des termes d’intérêt, et les formes lexicales recherchées dans le corpus pour chacun d’eux, on se réfèrera au niveau hiérarchique F2 de l’annexe A4.





#### 4.5.4 Types d'études

Pour consulter les correspondances entre les thèmes/termes visualisés dans cette section, la liste des termes d'intérêt, et les formes lexicales recherchées dans le corpus pour chacun d'eux, on se référera au niveau hiérarchique S2 de l'annexe A5.

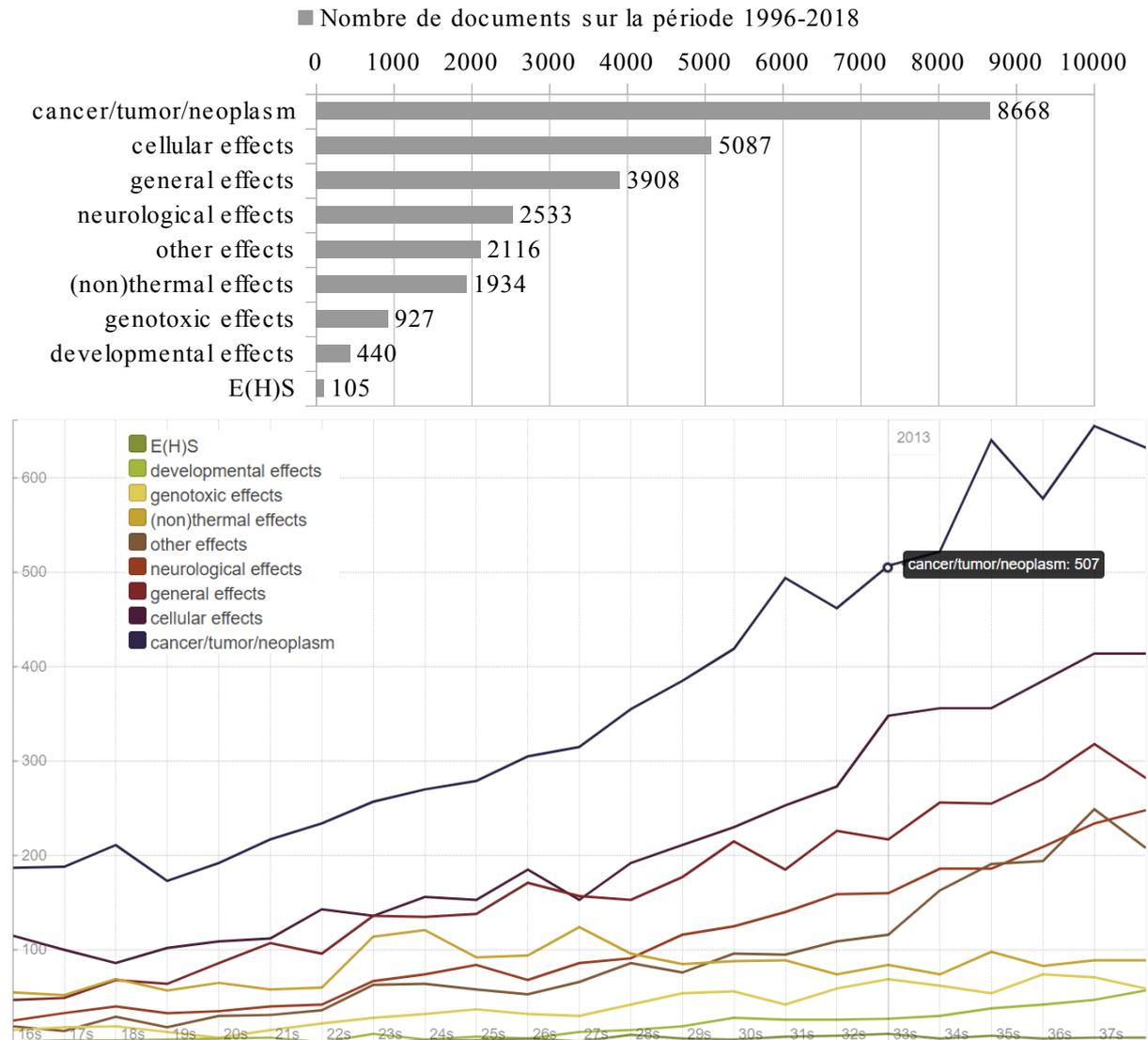


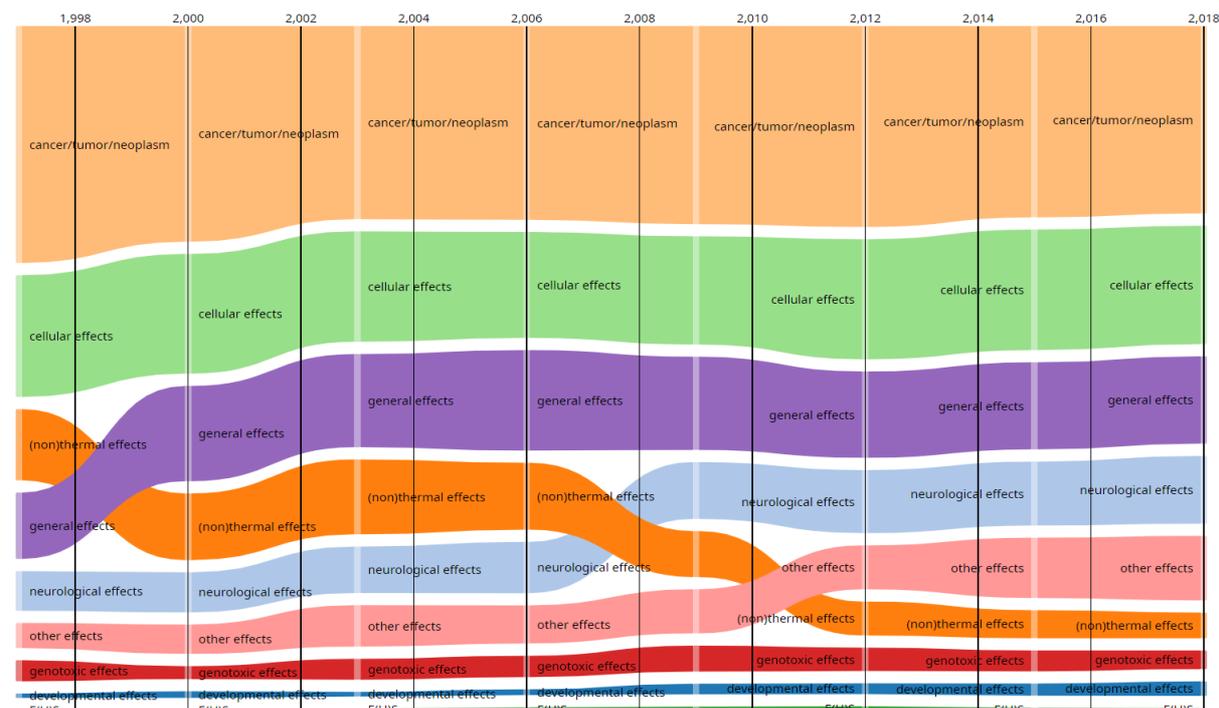
Il est possible que le fait que notre corpus comporte une certaine part d'études portant sur l'utilisation des radiofréquences à des fins d'imagerie ou à des fins thérapeutiques dans le domaine médical explique que le type d'étude qui y est le plus mentionné à l'échelle de l'ensemble de la période soit « étude clinique ».

On peut cependant remarquer, au long de la période, une augmentation assez importante des parts correspondant aux groupes de termes qui renvoient à des « études épidémiologiques », à des études « in vitro », et dans une plus faible mesure à des études « ex vivo » ; tandis que la part des termes liés aux « études sur animaux » a quant à elle suivi une tendance légèrement à la baisse (même si elle s'est trouvée entre 2009 et 2012 supérieure à la part des études cliniques).

#### 4.5.5 Types d'effets étudiés

Pour consulter les correspondances entre les thèmes/termes visualisés dans cette section, la liste des termes d'intérêt, et les formes lexicales recherchées dans le corpus pour chacun d'eux, on se réfèrera au niveau hiérarchique E2 de l'annexe A4. On y trouvera en particulier des précisions sur ce qui a été classé dans les catégories « general effects » et « other effects ».





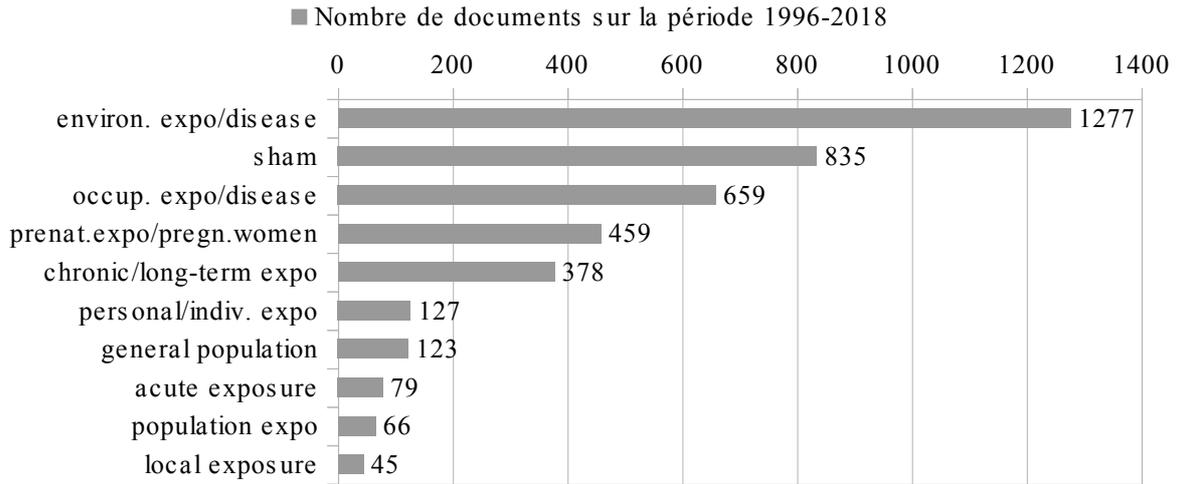
Là encore - comme pour les termes qui se réfèrent aux technologies d'une part, et aux types de fréquences et de signaux d'autre part -, un thème, parmi ceux qui renvoient aux effets biologiques et sanitaires étudiés, à savoir « cancer/tumeur/néoplasme », domine significativement le corpus sur l'ensemble de la période, suivie, dans une proportion assez importante aussi, de la catégorie des « effets cellulaires ».

Et comme pour les principaux thèmes de la famille des types de fréquences et de signaux, mais contrairement à celle des technologies pour laquelle on a observé des dynamiques d'émergence et de déclin relativement fortes, les parts relatives des différents thèmes de la famille des effets biologiques et sanitaires n'a pas beaucoup évolué au cours de la période. On peut tout de même noter une augmentation très légère mais régulière, des documents comportant des termes qui se réfèrent à des « effets neurologiques », « des effets génotoxiques », des « effets sur le développement », des effets divers (« other effects »), sur lesquels on reviendra plus loin ; tandis que la proportion de document abordant la question des « effets thermiques/non thermiques » n'a cessé de diminuer tout au long de la période.

Notons enfin que la part des documents discutant des questions d'« E(H)S », c'est à dire d'« électrosensibilité » et d'« électrohypersensibilité », est par rapport aux autres, particulièrement faible.

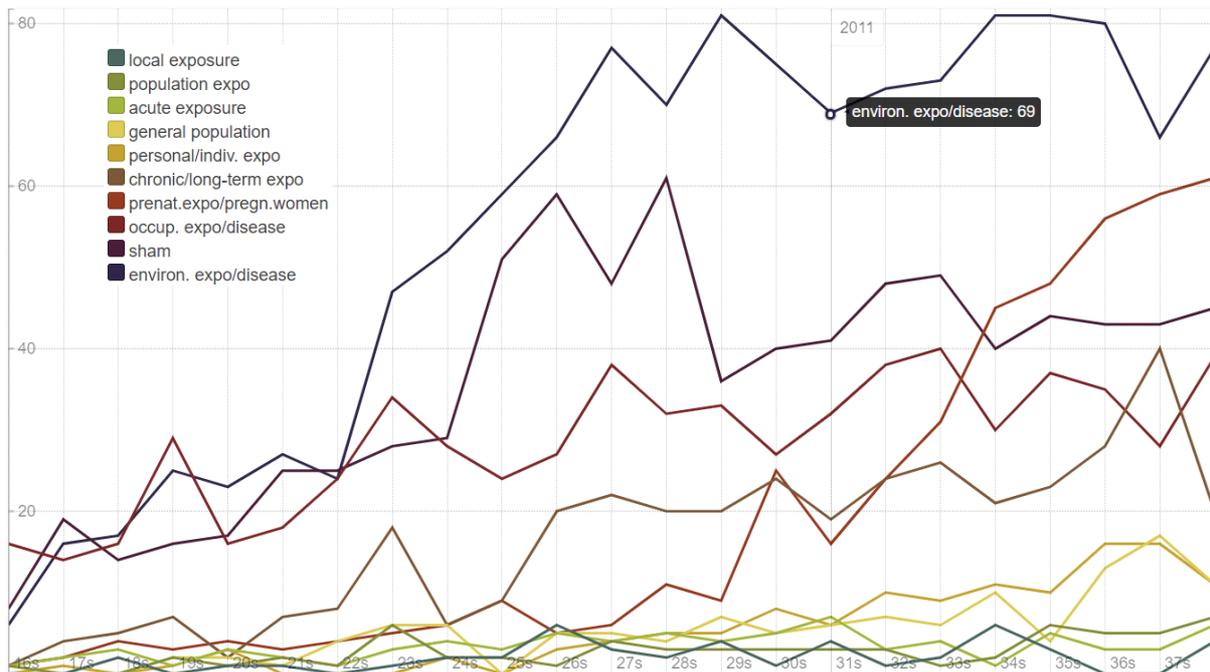
#### 4.5.6 Types d'exposition

Pour consulter les correspondances entre les thèmes/termes visualisés dans cette section, la liste des termes d'intérêt, et les formes lexicales recherchées dans le corpus pour chacun d'eux, on se référera au niveau hiérarchique OT2 de l'annexe A4.

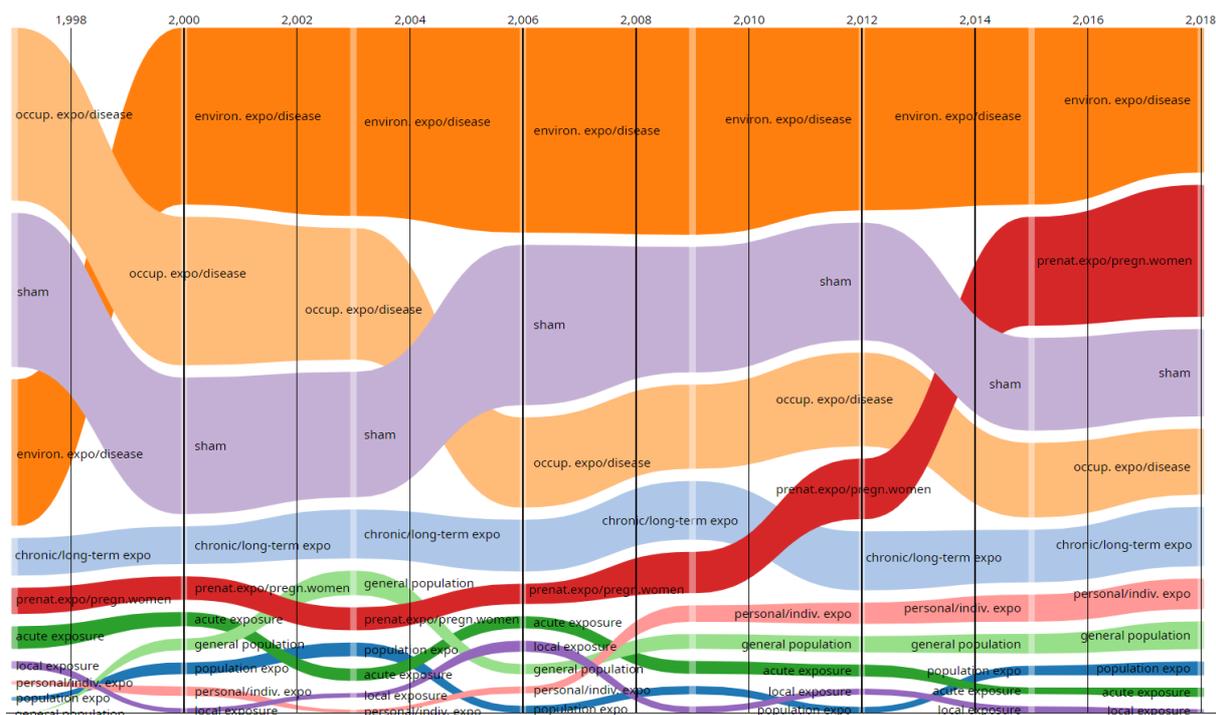


A l'échelle de l'ensemble de la période, le nombre de documents abordant explicitement le thème des « expositions/maladies environnementales » au sein de notre corpus est presque deux fois plus élevé que le nombre de ceux qui abordent le thème des « expositions/maladies professionnelles ».

On peut en outre observer sur la figure suivante que l'écart, en termes de production annuelle de documents traitant de ces deux thématiques, s'est nettement creusé à partir de 2002.



La figure ci-dessous indique quant à elle que le basculement, en termes de proportion de chacun de ces thèmes, par rapport à tous ceux qui sont représentés sur ces trois figures, s'effectue dès l'année 2000.

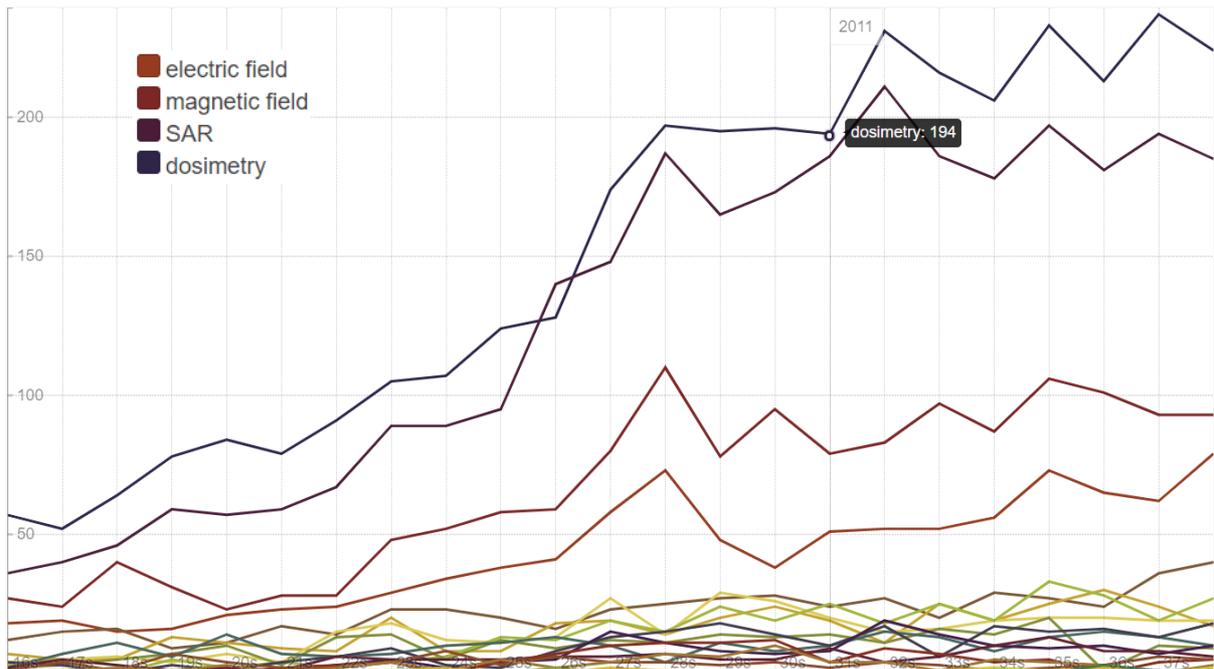
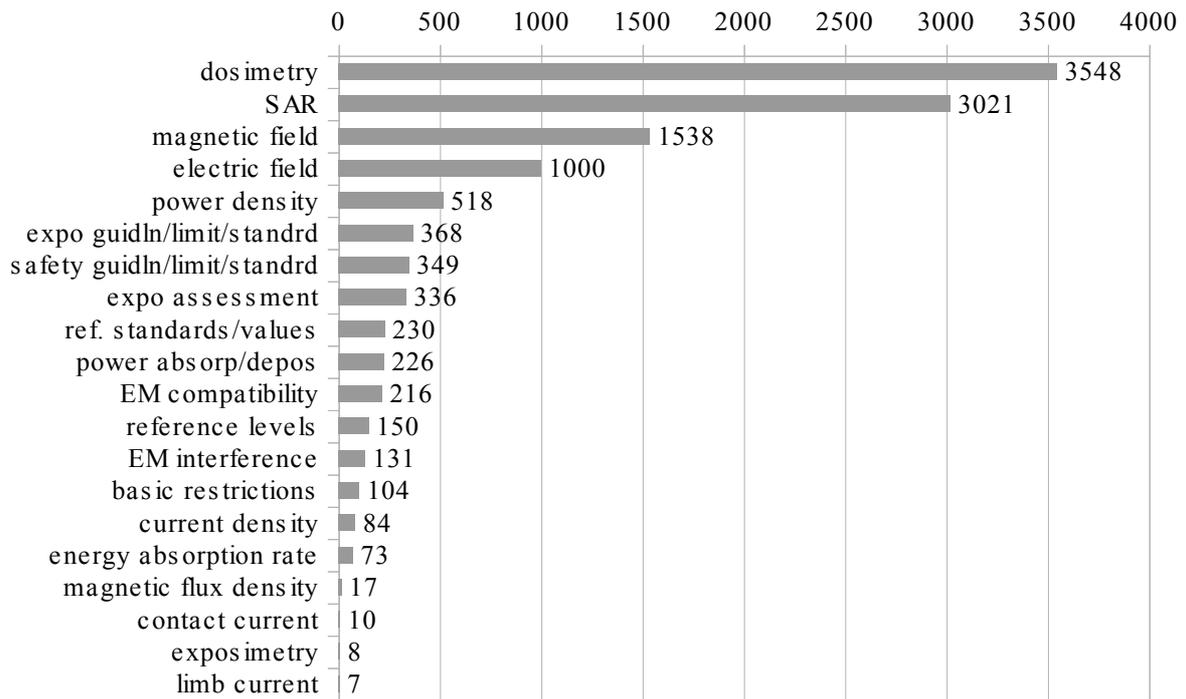


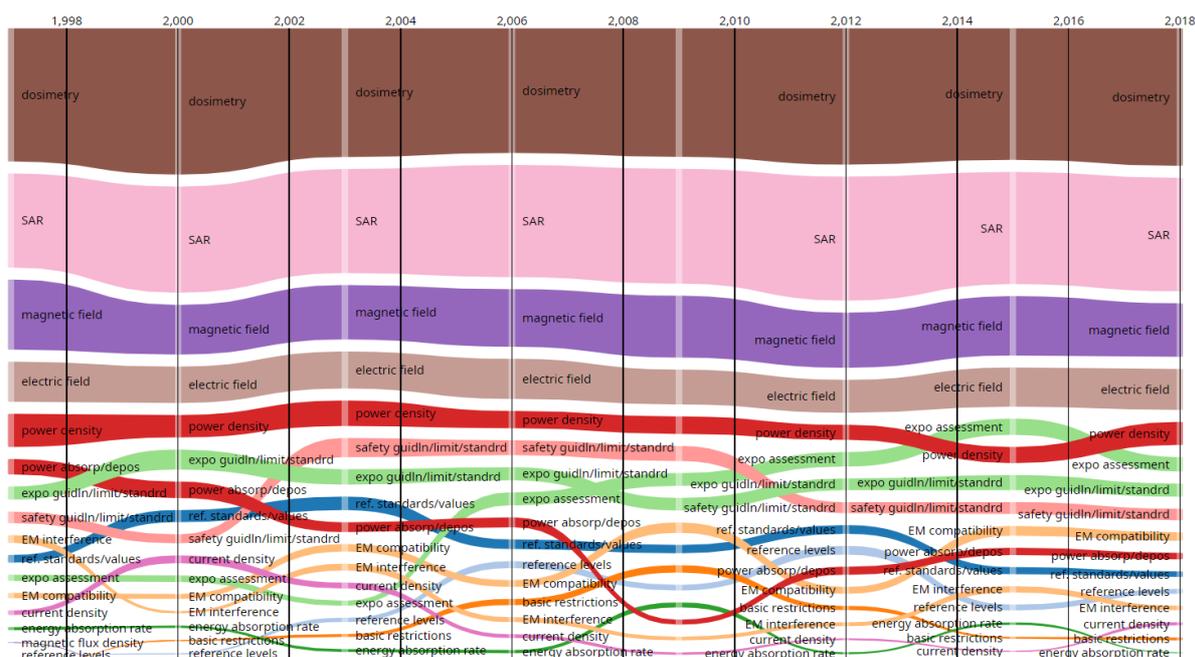
Tandis que sur l'ensemble de la période, la part du thème des « sham exposure » (autrement dit des groupes témoins ou contrôle) oscille, celles de deux autres thèmes relativement importants dans le corpus voient leur part augmenter : celle du thème des « expositions chroniques/de long terme », qui n'augmente que très légèrement, et celle du thème des « expositions prénatales » et des femmes enceintes, qui croient de façon très importante.

#### 4.5.7 Thèmes se rapportant à des notions et des normes d'exposition et de compatibilité électromagnétique

Pour consulter les correspondances entre les thèmes/termes visualisés dans cette section, la liste des termes d'intérêt, et les formes lexicales recherchées dans le corpus pour chacun d'eux, on se réfèrera au niveau hiérarchique OA2 de l'annexe A4.

■ Nombre de documents sur la période 1996-2018





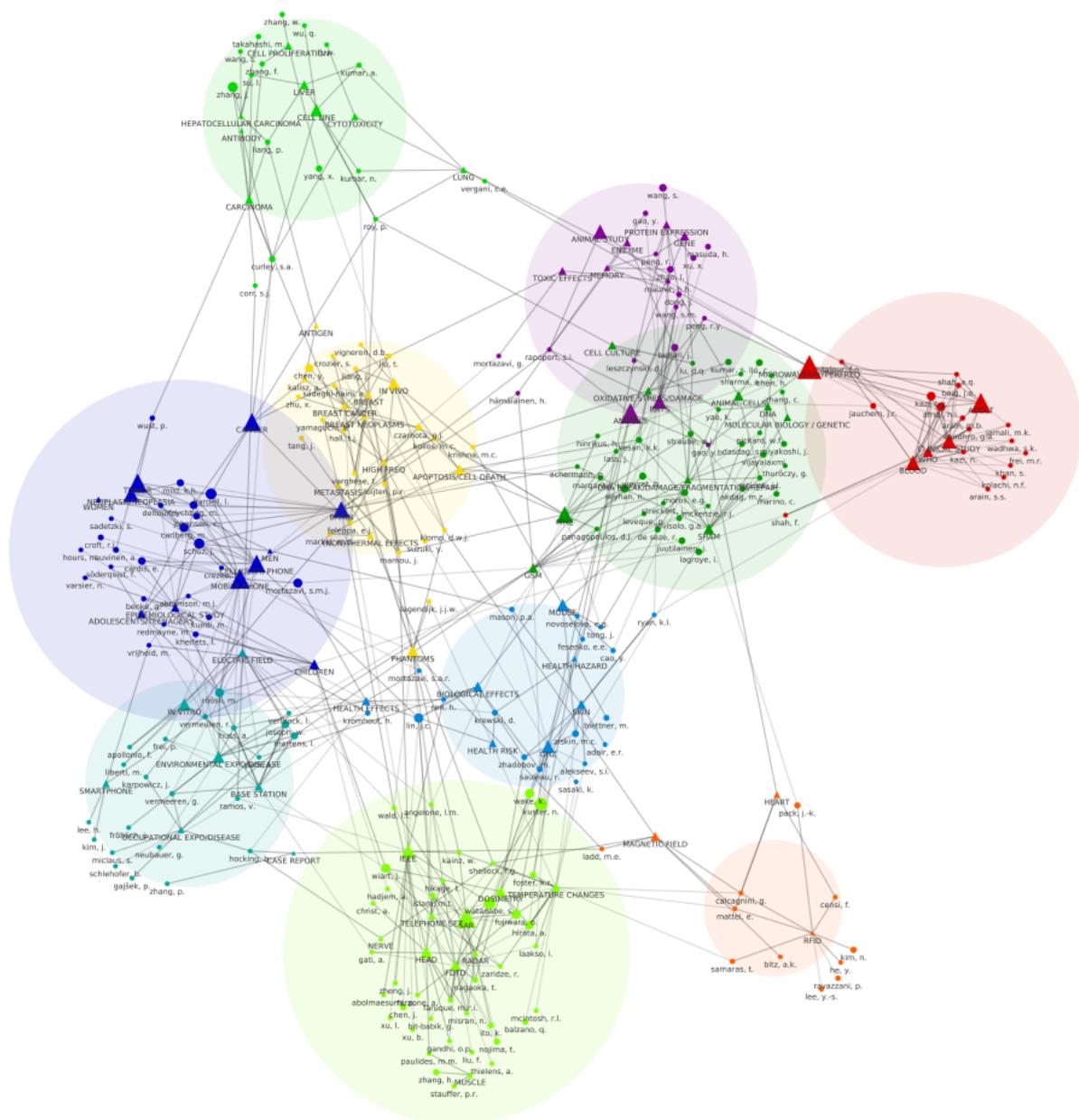
La distribution du nombre de documents par thèmes, à l'échelle de la période 1996-2018 entière, et les dynamiques temporelles que l'on peut observer pour les différentes composantes de cette famille des notions et des normes d'exposition et de compatibilité électromagnétique n'est pas sans rappeler celles qui ont été décrites pour la famille des types de fréquences et de signaux et celle des types d'effets biologiques et sanitaires : deux thèmes, qui en l'occurrence sont fortement liés l'un à l'autre, à savoir « dosimétrie » et « taux d'absorption spécifique », dominent largement cette famille, et les parts relatives des différents thèmes qui la constitue n'ont que très peu évolué au cours de la période.

#### 4.6 « QUI TRAVAILLE SUR QUOI ET COMMENT ? » : VUE GENERALE AU PRISME DES AUTEURS LES PLUS PUBLIANTS ET DES TERMES LES PLUS PRESENTS DANS LE CORPUS

La carte ci-dessous permet de visualiser ce sur quoi travaillent principalement les 337 auteurs les plus publiants au sein de notre corpus, au sens où sont matérialisés sur cette carte les liens entre ces auteurs et les 79 termes les plus fréquents dans le corpus (sachant que là encore, un terme revenant plusieurs fois dans le titre/le résumé/les mots-clefs associés à un document n'est compté qu'une seule fois).

Le seuil de 337 auteurs correspond à l'ensemble de ceux qui ont publié plus de 18 documents au sein du corpus, et le seuil de 79 termes correspond à l'ensemble de ceux que l'on retrouve dans plus de 2% des documents du corpus (ou autrement dit dans au moins 528 documents).

Les clusters visibles sur cette carte sont donc constitués d'ensemble d'auteurs qui travaillent principalement sur les mêmes objets de recherches ou selon les mêmes méthodes.

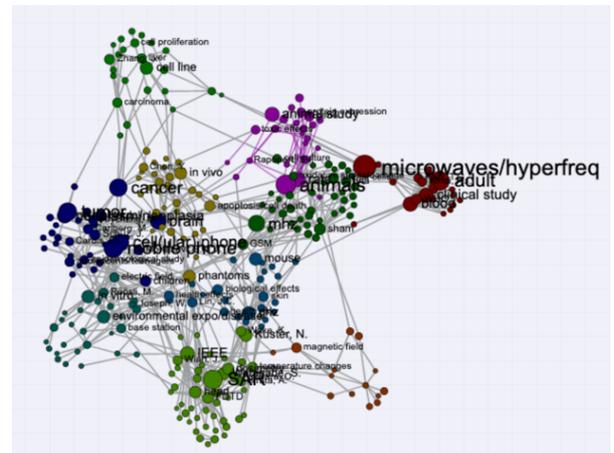


Cette carte est consultable en format gefx, à l'adresse suivante : <https://documents.cortext.net/lib/mapexplorer/explorerjs.html?file=https://assets.cortext.net/docs/e07071a5cbdd2d5038209a244cfb2099#>

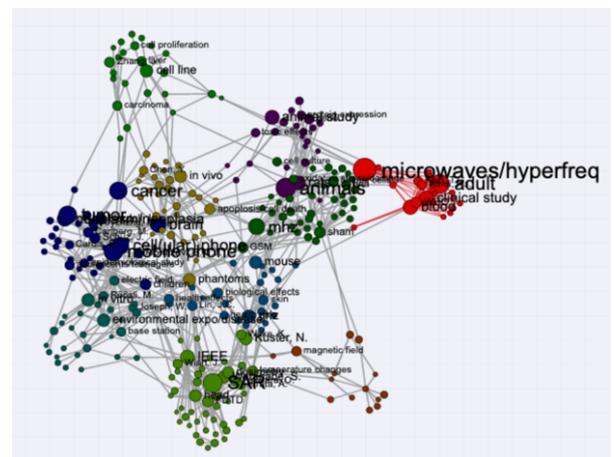
Il est possible, sur la page web présentant la carte, de cliquer sur un auteur pour voir apparaître dans la colonne de droite les termes qui y sont le plus fortement lié au sein du corpus, ou inversement de cliquer sur un terme pour voir apparaître dans cette même colonne la liste des auteurs qui y sont le plus fortement liés. Il est également possible de rechercher directement un auteur ou un terme en entrant le mot correspondant dans la barre de recherche qui figure sur la page juste au-dessus du réseau ; la carte est alors recentrée sur ce mot, s'il est présent sur la carte. On pourra, pour procéder à ce type de recherche, se référer à la liste des termes (cf. systématiquement les termes qui figurent dans la colonne 1 des différentes listes, c'est-à-dire les colonnes T1, S1, etc.) et à la liste des auteurs qui figurent

toutes deux en annexe. La carte fait apparait de manière nette qui se spécialise sur une série de thèmes définis, et formant la structure du champ d'études des radiofréquences et de leurs effets sur la santé.

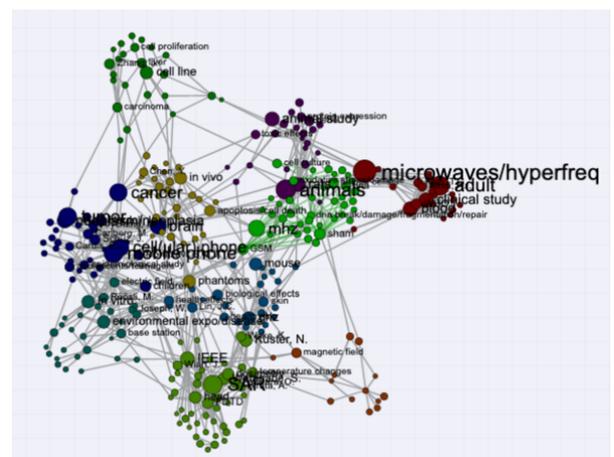
Le cluster violet en haut à droite regroupe des auteurs comme Zhao, L., Dong J., Behari J., et les termes rats, animals, gene, protein expression y sont associés. C'est donc le cluster qui, comparativement aux autres, travaille le plus en expérimentation animale, à l'étude des effets toxiques au niveau génétique.



A sa droite, en rouge, des auteurs comme Kazi T., Afridi H., Shah A., Talpur F. (voir le cluster 7 décrit p. 47 du rapport), situés en chimie analytique, sont regroupés autour de termes comme microwaves/hyperfreq., blood, clinical study, WHO.



Un cluster coloré en vert, lié à ces deux premiers, est organisé autour du terme GSM, oxidative stress, DNA break/damage, avec des auteurs comme Seyhan N., Veyret B., Moros E., de Seze R., Lagroye I., spécialistes de génotoxicité des champs électromagnétiques.

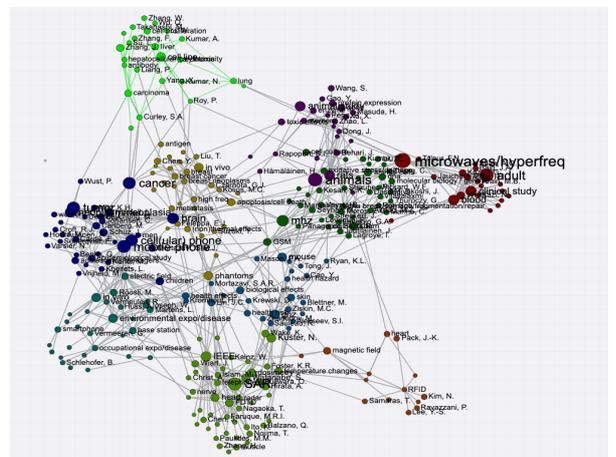
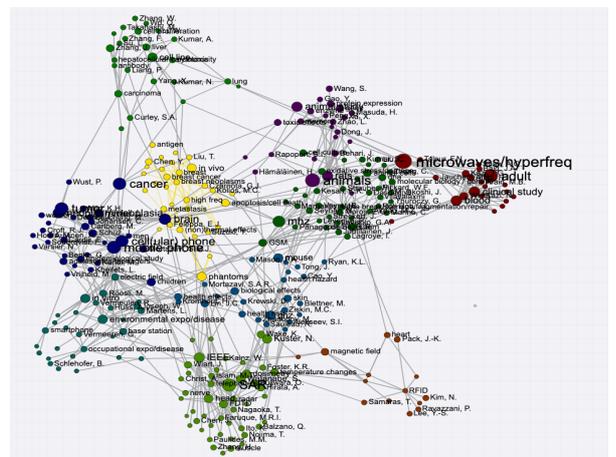
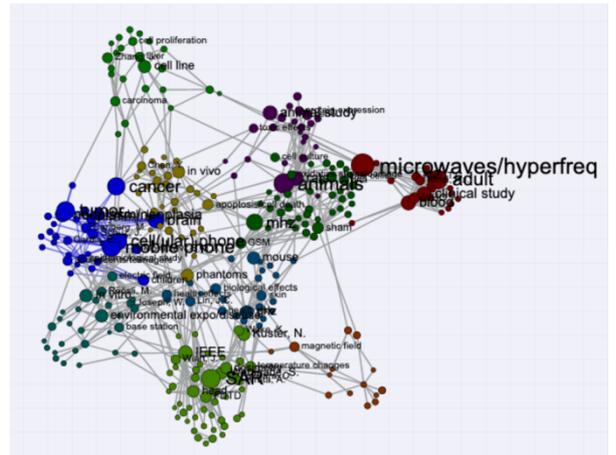




Ce cluster bleu, au poids important, est le cluster de l'étude épidémiologique des liens entre exposition aux téléphones portables et cancer, particulièrement des effets sur le cerveau. C'est celui des chercheurs européens tels que Abramason M., Benke G., Cardis E., Carlberg M., Feychrtng M., Hardell L., Schuz J.

Chen Y., Crozier S, Feleppa E., Czarnota G... sont regroupés autour de termes comme breast cancer, breast neoplasms, apoptosis, high freq., non thermal effects, et traite de l'usage et des effets des soins à base d'ultrasons en oncologie.

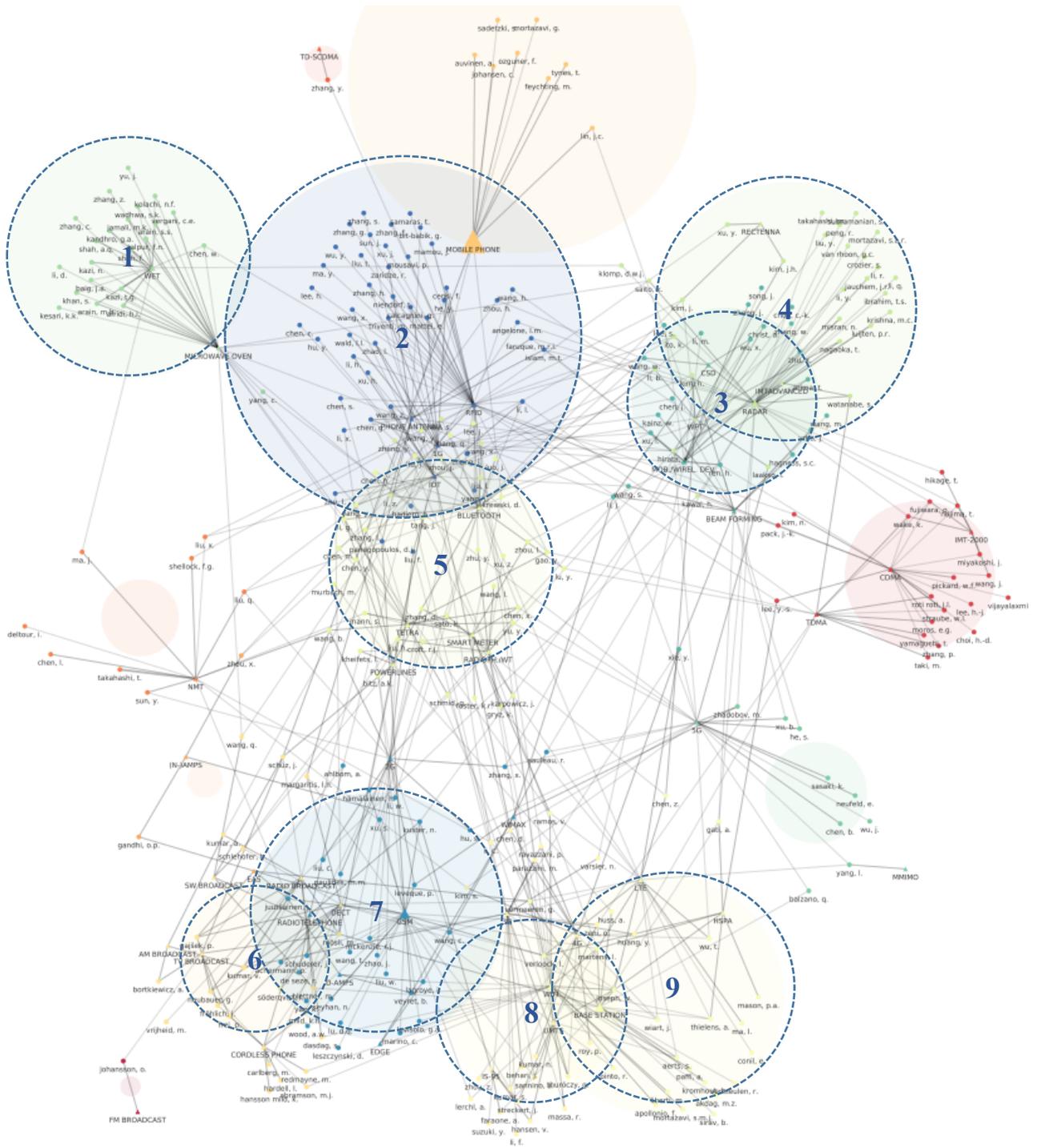
Zhang J., Kumar A., Liang P., Curley S., Roy P., sont regroupés en haut de la carte, dans un cluster contenant les termes lignée cellulaire, carcinome, cytotoxicité, foie.



Si l'on se concentre sur les clusters qui concernent plus particulièrement les radiofréquences liées aux télécommunications, et aux effets les plus travaillés, on ne distingue donc que deux spécialisations nettes en termes d'effet : l'une sur les tumeurs au cerveau, l'autre sur la génotoxicité. Les autres références aux effets sont plus génériques, que l'on parle d'effets thermiques (du côté du cluster dosimétrie) ou non thermiques, d'effets sanitaires ou encore de maladie, comme pour le cluster travaillant en expologie.

La carte suivante présente les auteurs les plus publiants, en fonction des technologies sur lesquelles ils travaillent (selon les termes apparaissant dans les titres, résumés et mots-clés de

leurs articles). Les cartes comportent les 337 auteurs les plus publiants au sein du corpus et les 79 termes les plus fréquents dans le corpus, parmi tous ceux qui figurent dans la classification des termes d'intérêts. On ne compte qu'une occurrence par document pour un terme donné. Autrement dit, un terme revenant plusieurs fois dans les champs titre et/ou résumé et/ou mots-clés d'un document n'est compté qu'une seule fois. Lorsqu'un auteur apparaît ici lié à un terme, cela signifie qu'il est de ceux qui ont publié le plus de documents comportant ce terme.

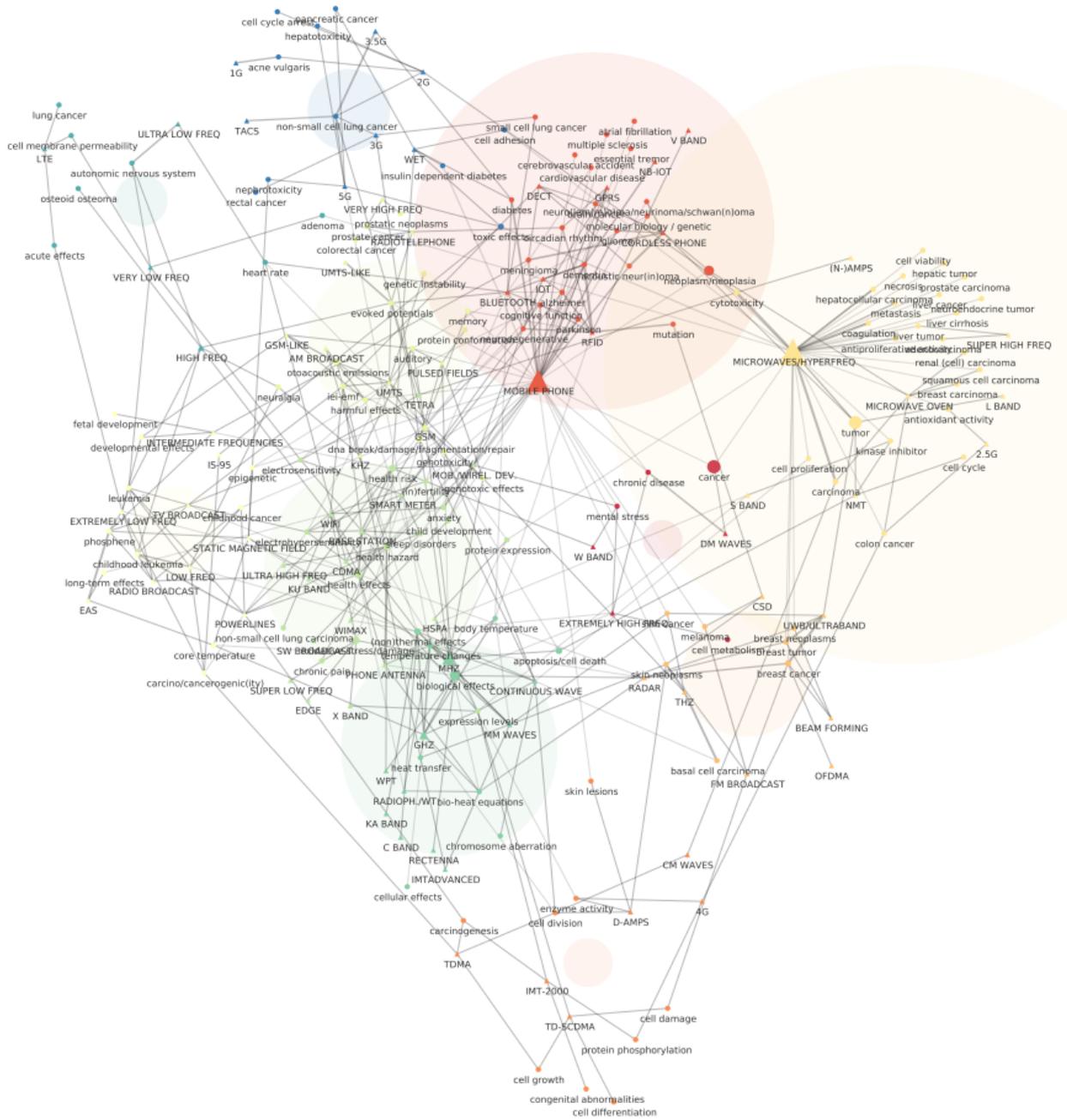


Cette carte est consultable en format GEFX [ici](#) (pour les précisions sur les possibilités d'exploration de la carte qu'offre ce format : cf. ci-dessus, en 4.6.1)<sup>36</sup>. Mis à part le terme « mobile phone », au poids important mais relié faiblement à beaucoup d'auteurs, les autres descripteurs de technologies sont rattachés à des ensembles très distincts d'auteurs. Il y a une spécialisation très claire. Le cluster 1 porte sur la technologie microwave oven. Le cluster 2 sur RFID et 1G. Le cluster 3 est sur « mobile/wireless dev. », et le 4, tout proche, sur la technologie du radar. Le cluster 5 est spécialisé sur la technologie bluetooth. Le 6 sur tv broadcast, radiobroadcast, cordless phone. Le 7 est centré sur la norme GSM. Le 8 sur 3G, 4G et UMTS. Le 9 sur wifi et LTE. Les clusters 6-9 semblent plus spécifiquement concerner les technologies de télécommunication, et sont plus imbriqués les uns avec les autres que les clusters du haut de la carte sur radar, rfid et microwave oven. Cette carte confirme donc qu'il y a une spécialisation sur l'exposition aux radiofréquences liées à la téléphonie mobile, et la spécialisation relative sur certaines parties de l'infrastructure, ou certaines normes/généralisations d'équipements. Cette spécialisation ne paraît pas empêcher des échanges entre ces groupes spécialisés, ni une translation de spécialistes d'une technologie vers une autre.

La carte ci-dessous permet de visualiser les liens les plus forts entre les termes d'intérêts relatifs aux effets biologiques et sanitaires listés dans la colonne E1 de la classification des termes (cf. annexe A4, section « Effets biologiques et sanitaires »), et les termes d'intérêts relatifs aux technologies ainsi que les types de signaux listés dans les colonnes T2 et F1 de la classification des termes (cf. annexe A4, sections « Technologies » et « Fréquences / types d'ondes »). Elle renforce l'impression que donne la carte précédente : une spécialisation très poussée, avec démarcation forte de clusters autour de technologies et d'effets lorsque l'on parle de technologies employées médicalement, et pour la partie technologies de télécommunication, un entrelacement plus grand entre des clusters, qui ne signifie pas absence de spécialisation sur une technologie et/ou un effet, mais qui laisse ouverte la possibilité d'échanges entre clusters, voire de déplacements de l'un à l'autre au cours du temps.

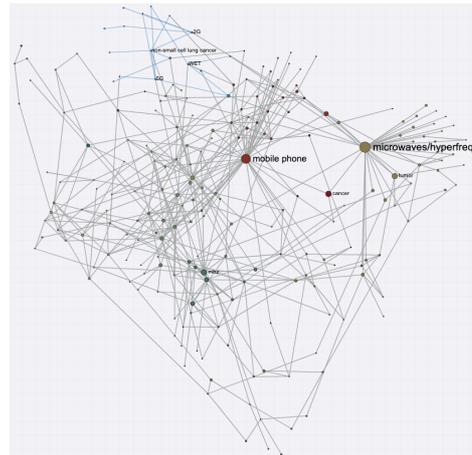
---

<sup>36</sup> Cette même carte est accessible en format PDF [ici](#).

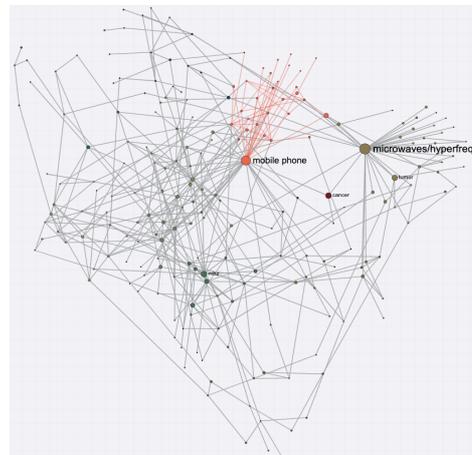


Cette carte est consultable en format GEFX [ici](#) (pour les précisions sur les possibilités d'exploration de la carte qu'offre ce format : cf. ci-dessus, en 4.6.1). Cette même carte est accessible en format PDF [ici](#). Elle donne à voir les clusters suivants :

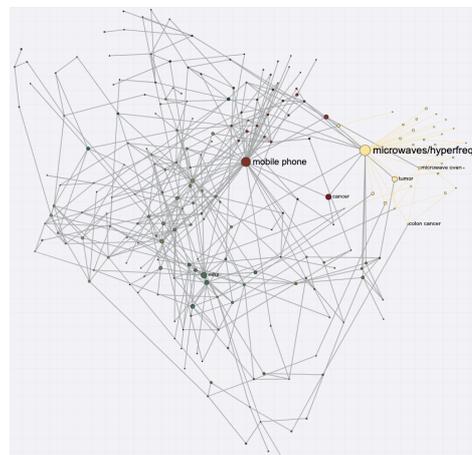
1. non-small cell lung cancer  
& WET, 2G, 3G, 5G,  
hepatotoxicity, lung cancer



2. RFID & mobile phone,  
alzheimer, cognitive  
function, glioma, brain  
cancer, neoplasm,  
dementia

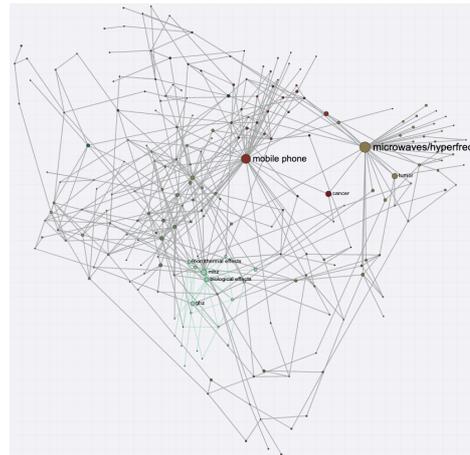


3. cytotoxicity &  
microwaves/hyperfreq,  
carcinoma, metastatis,  
necrosis, liver cancer

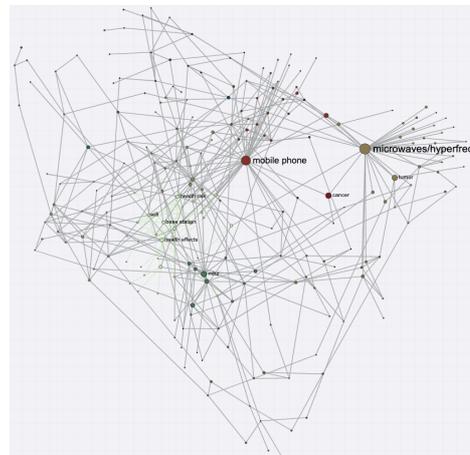




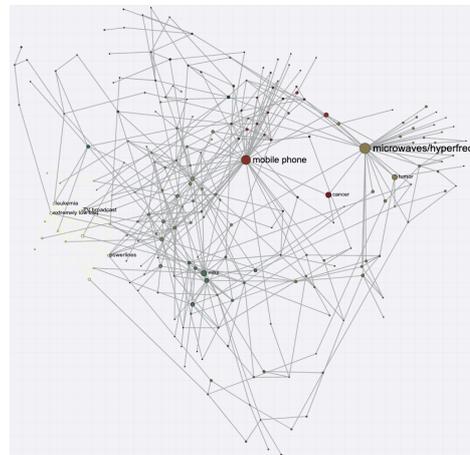
7. temperature changes & ghz, mhz, mm waves, body temperature, heat transfer, apoptosis/cell death



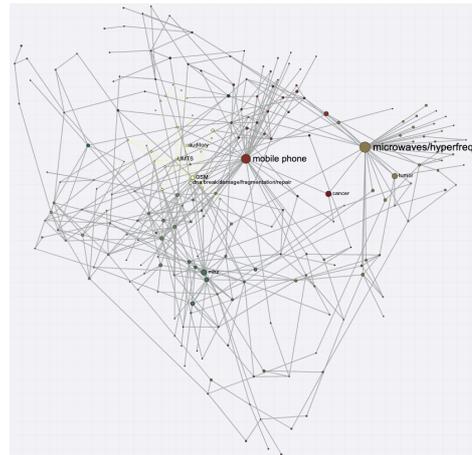
8. health effects & base station, wifi, oxidative stress, sleep disorders, anxiety, infertility, health risk, health hazards, electrohypersensitivity



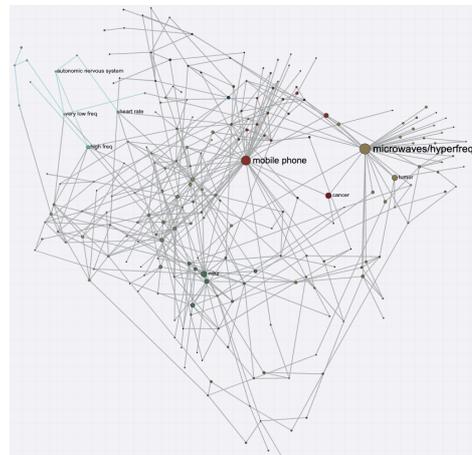
9. Leukemia, power lines, extremely low frequency



- UMTS & GSM, memory,  
auditory, DNA break,  
10. genetic instability,  
genotoxicity, prostate  
cancer, colorectal cancer



- autonomic nervous  
11. system & ultra low freq,  
heart rate, adenoma



Les clusters 1, 2, 8 et 10 (à gauche de la courbe dessiné sur la carte ci-dessous) portent sur les technologies non médicales, qui émettent des radiofréquences aux effets négatifs ou non bénéfiques. La carte traduit visuellement l'interet pour les effets de la technologie des téléphones portables noté à partir des tableaux présentés plus haut en section 4.5.2.

