

Étude Brain Health

FICHE THÉMATIQUE 18

LA NEURO-IMAGERIE

L'objectif des fiches thématiques est de fournir pour chaque pathologie étudiée des chiffres-clés en termes de publications scientifiques et d'essais cliniques réalisés. Elles fournissent également des données de positionnement par rapport aux autres pays, notamment les pays européens.

En synthèse

Depuis 40 ans, différentes techniques d'imagerie ont été mises au point pour observer le corps humain. Certaines d'entre elles permettent d'observer précisément le cerveau, et ce de manière non invasive. Ces techniques d'imagerie utilisent soit des rayonnements (émission de rayons X, détection de produits radioactifs injectés), soit la mesure de l'activité électrique ou, plus récemment, de champs magnétiques. Les récents progrès en informatique ont permis un véritable bond en avant dans l'analyse des données et des images. On peut distinguer plusieurs types d'imagerie :

a) **L'imagerie structurelle** qui permet d'étudier l'anatomie du cerveau et tout ce qui peut la perturber (tumeur, hémorragie, déformation pathologique, etc.). Elle se révèle très utile au diagnostic médical et utilise le scanner (tomographie, tomodensitométrie, CT-Scan) qui repose sur l'utilisation de rayons X permettant de réaliser une série de radiographies prises en coupe puis associées par ordinateur, et l'IRM (Imagerie par résonance magnétique) qui utilise les champs magnétiques et les propriétés des molécules d'eau. Cet examen fournit des informations différentes et complémentaires à celles apportées par le scanner.

b) **L'imagerie fonctionnelle** qui rend compte de l'activité des zones cérébrales durant certaines tâches (parole, mouvement, etc.). Elle est autant utilisée en recherche fondamentale qu'en clinique, pour identifier des foyers épileptiques (réseaux de neurones à l'origine des crises d'épilepsie) ou pour repérer des zones du cerveau devant être épargnées lors d'une opération chirurgicale. Elle utilise :

- La TEP (Tomographie par émission de positons, scintigraphie, PETscan), basée sur l'utilisation d'une molécule radioactive injectée en intraveineuse. Des capteurs externes mesurent ensuite les différentes quantités de rayonnements émis dans la zone où elle se trouve.
- L'IRMf (Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) qui permet d'enregistrer les variations de flux sanguin dans des petites zones du cerveau.
- La MEG (Magnétoencéphalographie) qui mesure des champs magnétiques dus à l'activité électrique des neurones.

L'imagerie cérébrale se révèle ainsi être un allié précieux pour préciser un diagnostic, localiser des lésions, suivre l'efficacité des thérapies administrées aux patients.



Expert ayant contribué à la fiche

Grégoire BOULOUIS - Université de Tours, INSERM 1253 iBrain, CIC-IT 14.15, CHU de Tours



Directrice - Marie LANG

Cellule bibliométrie - Patrick DEVOS, Vincent AKIKI

Cellule communication - Christophe CHAZELLE



Retrouvez l'ensemble
de l'étude Brain Health
sur le **site du CNCR**



I Publications scientifiques

Cette partie fournit les indicateurs de production scientifique, sur la période 2002-2021, par année et par période de 5 ans.

A Nombre de publications

Au niveau mondial, sur la période 2002-2021, on identifie dans le Web of Science, 294 840 publications relatives à cette thématique, 6 339 en 2002 versus 33 888 en 2021, soit une multiplication par 5.3 en 20 ans.

Le **Tableau 1** fournit l'évolution des 20 pays les plus contributifs à cette thématique sur la période analysée.

Pays	Total	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
World	294840	6339	7027	7355	8227	8550	9012	10067	10776	11489	12266	13720	14652	15593	16204	16670	18214	19966	25453	29372	33888
EU28	116 528	2794	3020	3150	3490	3674	3836	4249	4520	4816	5109	5741	6060	6423	6734	6774	7232	7777	9416	10264	11449
USA	102 141	2224	2525	2686	3088	3152	3398	3803	4135	4309	4613	5122	5451	5786	5922	6063	6429	6741	8121	8887	9686
China	33 978	57	113	134	176	225	260	394	469	592	734	895	1091	1399	1667	1958	2434	3167	4643	5982	7588
Germany	32 097	838	895	952	980	1086	1090	1225	1257	1324	1451	1634	1739	1809	1895	1943	1986	2106	2467	2551	2869
UK	29 260	662	703	731	813	889	970	1053	1146	1188	1282	1429	1455	1596	1695	1697	1819	2013	2515	2607	2997
Japan	20 028	769	796	800	795	811	749	832	828	855	903	918	957	955	987	973	1127	1241	1386	1566	1780
Canada	18 637	289	358	406	465	496	563	631	665	689	757	825	983	982	1139	1096	1291	1353	1696	1885	2068
Italy	16 956	365	400	415	433	476	507	568	648	694	685	784	820	901	973	1030	1063	1107	1479	1748	1860
France	13 952	321	376	356	409	401	443	471	493	527	551	664	695	765	805	850	928	929	1225	1284	1459
Netherlands	13 601	242	252	278	334	370	399	475	517	579	583	694	753	842	848	895	916	1033	1119	1118	1354
Australia	11 082	151	163	159	212	226	257	304	346	347	387	447	548	619	689	739	770	965	1097	1236	1420
South Korea	10 737	107	116	153	206	194	247	270	325	373	442	515	515	584	637	708	757	821	1081	1309	1377
Switzerland	9 673	184	168	192	224	244	236	295	291	363	397	461	507	610	577	625	658	749	846	937	1109
Spain	8 076	93	89	124	159	144	163	235	248	309	354	348	408	455	519	489	540	587	820	931	1061
India	7 161	58	80	65	99	113	110	148	128	175	170	196	208	278	253	326	409	462	884	1289	1710
Turkey	6 304	141	162	232	222	195	235	227	231	220	190	236	258	253	337	331	332	392	533	746	831
Sweden	5 484	131	130	128	127	167	160	169	170	191	187	254	261	278	337	339	380	410	476	587	602
Belgium	5 416	90	129	112	129	126	152	179	192	208	246	251	303	315	331	324	374	436	455	495	569
Taiwan	4 563	73	86	104	126	134	112	187	161	204	203	224	244	221	262	229	275	289	360	465	604
Brazil	4 474	55	78	67	85	126	132	142	159	177	190	194	222	237	250	250	321	318	397	523	551
Austria	4 233	96	100	101	145	117	123	157	147	175	170	175	267	210	238	232	263	295	383	390	449

Tableau 1 – Évolution des 20 pays les plus contributifs, EU28 en vert

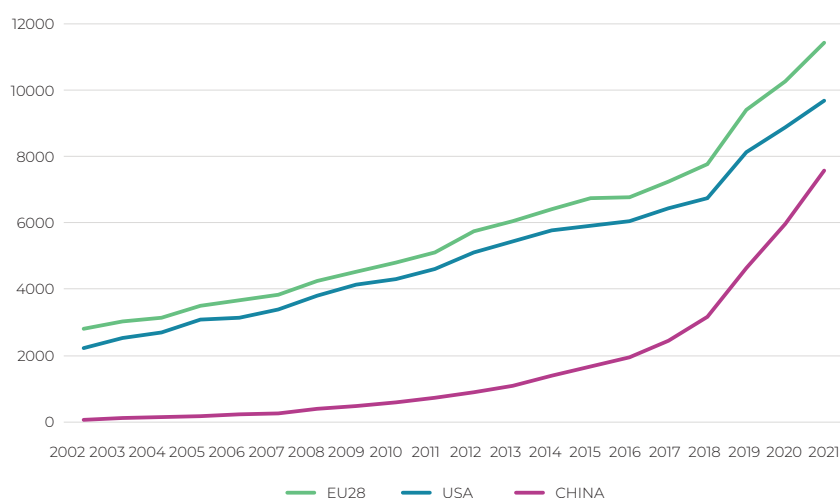


Figure 1 – Évolution des USA, de l'Europe (EU28) et de la Chine

La **Figure 1** montre l'évolution de la production scientifique des USA, de l'Europe (EU28) et de la Chine. Les productions respectives de l'Europe et des USA sont relativement comparables au cours du temps. On observe une forte augmentation sur les 3 dernières années. La production de la Chine croît de manière très rapide mais reste encore en deçà de celles de l'Europe et des USA. Avec 7 588 publications en 2021, la Chine se classe au deuxième rang mondial, derrière les USA.

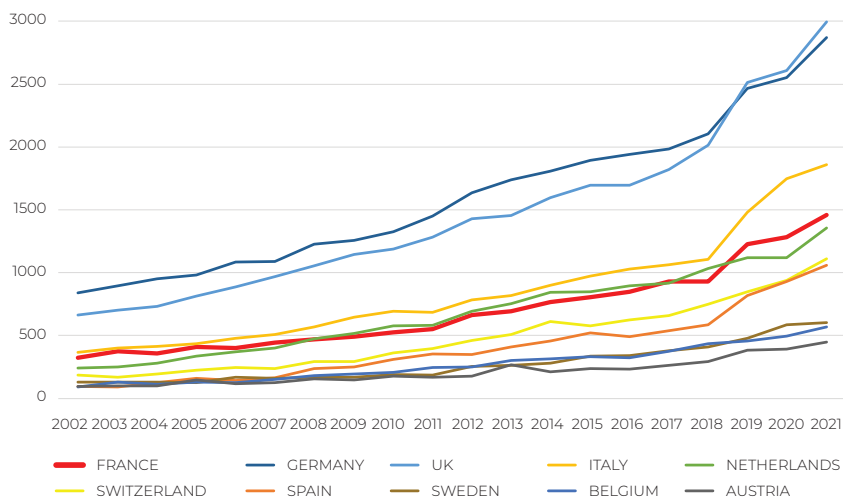


Figure 2 – Contributions des pays européens

La **Figure 2** fournit l'évolution de la production scientifique des 10 pays européens les plus contributeurs. En tête de liste, l'Allemagne et le Royaume-Uni qui se démarquent nettement. Ensuite, l'Italie, la France et les Pays-Bas, l'Italie se détachant à partir de 2019. À noter les positionnements de la Suisse et de l'Espagne qui se rapprochent de celui de la France. Enfin, la Suède, la Belgique et l'Autriche qui affichent une croissance plus faible.

Avec 1 459 publications en 2021, la France se place au 4^e rang européen derrière le Royaume-Uni, l'Allemagne et l'Italie, et au 9^e rang mondial.

Le **Tableau 2** fournit, par période de 5 ans et pour les principaux pays, le nombre de publications, la part mondiale ainsi que le rang.

Pays	Total 2002-2021	P1 : 2002-2006			P2 : 2007-2011			P3 : 2012-2016			P4 : 2017-2021			Ratio : P4 / P1
		Nb Pubs	Part	Rang	Nb Pubs	Part	Rang	Nb Pubs	Part	Rang	Nb Pubs	Part	Rang	
World	294 840	37 498			53 610			76 839			126 893			3.4
EU28	116 528	16 128	43.0		22 530	42.0		31 732	41.3		46 138	36.4		2.9
USA	102 141	13675	36.5	1	20258	37.8	1	28344	36.9	1	39864	31.4	1	2.9
China	33 978	705	1.9	13	2449	4.6	9	7010	9.1	4	23814	18.8	2	33.8
Germany	32 097	4751	12.7	2	6347	11.8	2	9020	11.7	2	11979	9.4	3	2.5
UK	29 260	3798	10.1	4	5639	10.5	3	7872	10.2	3	11951	9.4	4	3.1
Japan	20 028	3971	10.6	3	4167	7.8	4	4790	6.2	6	7100	5.6	7	1.8
Canada	18 637	2014	5.4	6	3305	6.2	5	5025	6.5	5	8293	6.5	5	4.1
Italy	16 956	2089	5.6	5	3102	5.8	6	4508	5.9	7	7257	5.7	6	3.5
France	13 952	1863	5.0	7	2485	4.6	8	3779	4.9	9	5825	4.6	8	3.1
Netherlands	13 601	1476	3.9	8	2553	4.8	7	4032	5.2	8	5540	4.4	9	3.8
Australia	11 082	911	2.4	11	1641	3.1	11	3042	4.0	10	5488	4.3	10	6.0
South Korea	10 737	776	2.1	12	1657	3.1	10	2959	3.9	11	5345	4.2	11	6.9
Switzerland	9 673	1012	2.7	9	1582	3.0	12	2780	3.6	12	4299	3.4	13	4.2
Spain	8 076	609	1.6	16	1309	2.4	13	2219	2.9	13	3939	3.1	14	6.5
India	7 161	415	1.1	20	731	1.4	21	1261	1.6	17	4754	3.7	12	11.5
Turkey	6 304	952	2.5	10	1103	2.1	14	1415	1.8	16	2834	2.2	15	3.0
Sweden	5 484	683	1.8	15	877	1.6	16	1469	1.9	15	2455	1.9	16	3.6
Belgium	5 416	586	1.6	17	977	1.8	15	1524	2.0	14	2329	1.8	17	4.0
Taiwan	4 563	523	1.4	19	867	1.6	17	1180	1.5	18	1993	1.6	19	3.8
Brazil	4 474	411	1.1	21	800	1.5	18	1153	1.5	19	2110	1.7	18	5.1
Austria	4 233	559	1.5	18	772	1.4	19	1122	1.5	20	1780	1.4	20	3.2

Tableau 2 – Évolution, par pays et par période, des parts de marché et rangs mondiaux

En 20 ans, la France est passée du 7^e rang mondial au 8^e rang, notamment à cause de la progression de la Chine. La part mondiale de la France a légèrement baissé, passant de 5.0 % à 4.6 %. Son nombre de publications dans cette thématique a augmenté d'un facteur 3.1, alors qu'on observe une augmentation mondiale de 3.4 et européenne de 2.9. Au niveau mondial, très forte augmentation de la Chine (33.8), de l'Inde (11.5), de la Corée du Sud (6.9), de l'Australie (6.0) ou du Brésil (5.1). En Europe, forte progression de l'Espagne (6.5) qui affiche une augmentation deux fois égale à celle de l'Europe ou celle de la France.

B Indices de citations

En complément des indicateurs de volumétrie, il est important de regarder l'impact, en termes de citations, des publications réalisées. Le **Tableau 3** fournit trois indicateurs classiques : l'ICN, le Top1% et le Top10% (voir fiche Méthodologie).

Pays	Total	P1 : 2002-2006			P2 : 2007-2011			P3 : 2012-2016			P4 : 2017-2021		
		ICN	Top1%	Top10%	ICN	Top1%	Top10%	ICN	Top1%	Top10%	ICN	Top1%	Top10%
World	294 840	1.25	1.91	16.8	1.30	2.03	16.8	1.21	1.62	15.4	1.17	1.67	13.7
EU28	116 528	1.30	1.88	17.8	1.36	2.05	17.8	1.32	1.88	17.4	1.30	1.96	15.6
USA	102 141	1.63	3.14	23.4	1.67	3.32	23.0	1.48	2.51	20.4	1.35	2.10	17.1
China	33 978	0.77	0.71	9.2	1.08	1.59	12.6	1.14	1.58	12.3	1.32	2.51	16.1
Germany	32 097	1.26	1.81	17.9	1.42	2.36	19.3	1.40	2.16	19.2	1.36	2.29	16.9
UK	29 260	1.89	3.74	26.3	1.76	3.26	24.2	1.69	3.30	22.7	1.63	3.25	20.6
Japan	20 028	0.68	0.35	7.0	0.78	0.48	7.6	0.83	0.92	8.1	0.91	1.04	8.7
Canada	18 637	1.46	2.28	22.4	1.59	2.72	20.8	1.42	2.09	19.5	1.39	2.32	18.0
Italy	16 956	1.12	1.29	12.2	1.19	1.45	15.4	1.30	1.75	16.7	1.26	1.61	15.6
France	13 952	1.29	1.56	17.3	1.50	2.90	20.0	1.41	2.12	19.0	1.49	2.92	18.2
Netherlands	13 601	1.50	2.17	22.8	1.79	3.17	22.3	1.59	2.43	21.8	1.64	3.05	21.3
Australia	11 082	1.45	3.07	19.4	1.68	3.11	22.7	1.56	2.79	20.0	1.56	3.06	20.3
South Korea	10 737	0.80	0.64	8.4	0.92	0.72	9.1	1.00	1.45	11.4	1.21	2.11	14.3
Switzerland	9 673	1.44	2.08	20.2	1.54	3.22	20.8	1.53	2.73	20.5	1.46	2.49	19.7
Spain	8 076	1.25	2.13	15.9	1.26	1.68	15.4	1.40	2.25	18.0	1.51	2.64	18.5
India	7 161	0.54	0.00	4.6	0.75	0.55	7.4	0.87	1.19	8.2	1.06	1.49	13.2
Turkey	6 304	0.59	0.63	5.0	0.74	0.63	6.3	0.78	0.57	6.7	0.94	1.48	10.3
Sweden	5 484	1.40	2.64	16.7	1.35	2.85	17.9	1.56	2.25	21.5	1.70	3.67	21.1
Belgium	5 416	1.23	1.37	19.6	1.47	2.76	19.4	1.45	2.23	20.1	1.49	3.01	18.4
Taiwan	4 563	0.75	0.38	7.6	0.92	1.38	10.1	0.98	0.76	12.0	1.15	1.35	12.6
Brazil	4 474	0.89	1.46	9.5	0.89	0.75	11.8	0.99	1.13	11.5	1.13	1.85	13.0
Austria	4 233	1.41	1.79	21.6	1.65	4.40	20.7	1.44	2.41	19.5	1.53	2.47	19.2

Tableau 3 – Évolution, par pays et par période, des indicateurs d'impact

Globalement, la France affiche des indicateurs d'impact ayant des valeurs supérieures aux valeurs européennes et mondiales, notamment sur les trois dernières périodes. À noter les bonnes performances de quelques pays européens, notamment le Royaume-Uni et les Pays-Bas. À noter également, contrairement à la Chine qui affiche maintenant des indicateurs d'impact proches de la moyenne, les faibles valeurs des indicateurs du Japon, du Brésil, de l'Inde ou de la Turquie, pays ayant fortement progressé en volume mais avec des indicateurs d'impact faibles. Enfin, progression des indicateurs d'impact de l'Espagne.

C Principales institutions contributrices

En Europe, parmi les institutions ayant les plus fortes contributions, on retrouve l'Université de Londres ainsi que l'University College London et le King's College. Ensuite, l'AP-HP ainsi que les universités Paris Cité et Sorbonne Université. Puis, l'Université d'Oxford, l'Université Humboldt et l'Université libre de Berlin, et les universités d'Utrecht et d'Amsterdam.

On note également un fort positionnement de l'Inserm et du CNRS en France (premier et second rangs européens), ainsi que d'autres structures nationales de recherche : Max Planck Institute et Helmholtz Association en Allemagne.

En France, on retrouve l'AP-HP et les universités parisiennes, suivies de l'Université d'Aix-Marseille, du CHU de Lyon et de l'Université Claude Bernard, suivies des universités de Toulouse, Grenoble, Lille, Montpellier et Bordeaux.

D Réseaux de collaboration

Ces analyses ont pour objectif d'identifier les chercheurs les plus actifs dans un domaine de recherche et de cartographier les collaborations entre ces chercheurs. Plus un point est gros, plus le nombre de publications du chercheur est élevé et plus 2 points sont proches, plus ces chercheurs publient ensemble. 2 cartographies ont été réalisées.

1. Une cartographie réalisée au niveau européen, sur la base des publications 2017-2021 et classées parmi les 10 % les plus citées au niveau mondial.

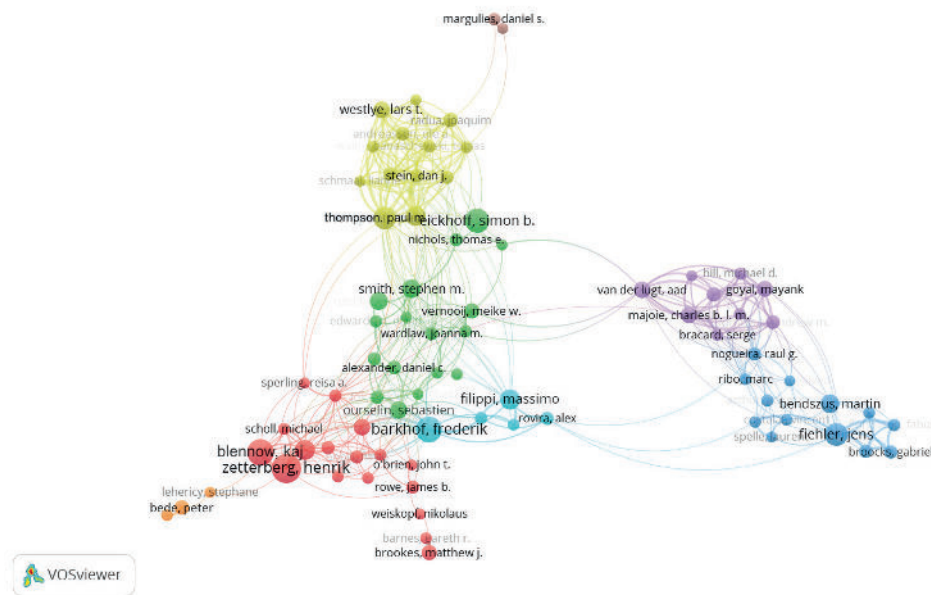


Figure 3 – Cartographie des chercheurs européens publiant dans le Top10%

Cette cartographie permet d'identifier les leaders européens et d'identifier de potentielles collaborations dans le cadre du montage d'un projet. Parmi les leaders européens, nous pouvons citer :

- **Henrik ZETTERBERG** et **Kaj BLENNOW** (Université de Göteborg, Suède)
- **Frederik BARKHOF** (Vrije Universiteit, Amsterdam, Pays-Bas)
- **Simon B EICKHOFF** (Heinrich Heine University, Düsseldorf, Allemagne)
- **Jens FIEHLER** (University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hambourg, Allemagne)
- **Massimo FILIPPI** (Salute San Raffaele University, Milan, Italie)
- **Charles B L M MAJOIE** (Université d'Amsterdam, Pays-Bas)

À noter les fortes collaborations avec **Paul M THOMPSON**, University of Southern California, Los Angeles, aux États-Unis.

2. Une cartographie réalisée au niveau français, sur la base des publications 2017-2021 et pour lesquelles un auteur français est Corresponding Author.

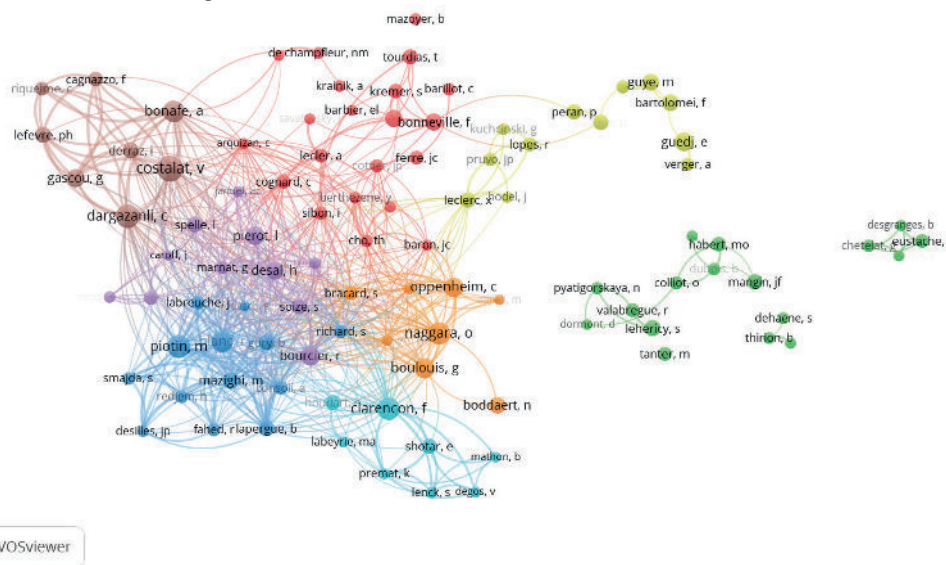


Figure 4 – Cartographie des chercheurs français (articles avec adresse française en Corresponding Author)

Cette cartographie permet d'identifier les équipes françaises publiant sur la thématique. Elle permet également de disposer d'information pour la recherche de collaborations. On retrouve sur cette carte les principaux experts de la recherche sur cette thématique :

- **Vincent COSTALAT** et **Cyril DARGAZANLI** (Montpellier)
- **Michel PIOTIN** (Paris)
- **Frédéric CLARENÇON** (Paris)
- **Georges BOULOUIS** (Tours)
- **Olivier NAGGARA** (Paris)
- **Fabrice BONNEVILLE** (Toulouse)
- **Xavier LECLERC** et **Jean-Pierre PRUVO** (Lille)

E Analyse des Citations Topics

La classification « Citations Topics » est une classification des publications réalisée à l'aide d'un algorithme développé par le CWTS à Leiden. Il s'agit d'une classification hiérarchique à trois niveaux (Macro, Meso et Micro) basée sur les réseaux de citations entre les publications. Le niveau Micro, le plus fin, contient 2 488 thématiques. Cette classification est basée sur les articles et non les revues, elle est plus informative que d'autres classifications disponibles dans Web of Science et InCites.

La **Figure 5** fournit l'évolution des principaux Micro Topics sur les 4 périodes de 5 ans. Le **Tableau 4** donne, pour les 20 principaux Micro Topics de la thématique (classement mondial sur P4 2017-2021), le nombre de publications, le pourcentage et le rang de chaque Micro Topics sur la première et dernière période, ainsi que l'évolution en 20 ans. Il fournit également, pour la dernière période, les données pour le Monde, la France et l'Europe. Ces données permettent de positionner la France par rapport à l'Europe et au Monde.

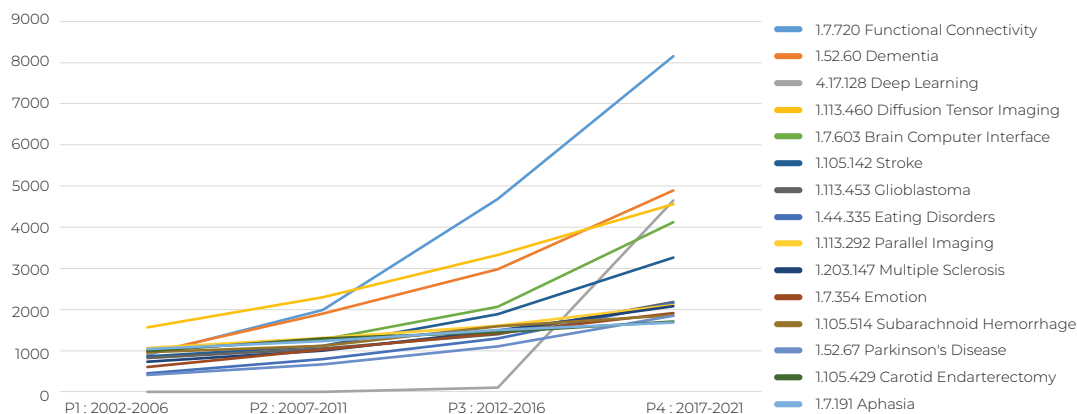


Figure 5 – Évolution des principaux Micro Topics sur les 4 périodes de 5 ans

Sur les 20 dernières années, on remarque la très forte augmentation des termes Functional Connectivity et Deep Learning. Augmentation importante de Brain Computer Interface. Forte représentation des termes Dementia et Stroke.

On remarque également quelques topics fortement représentés au niveau mondial mais peu en France : Eating disorders ou Traumatic Brain Injury. Inversement, forte activité de la France sur les termes Multiple Sclerosis, Subarachnoid Hemorrhage ou Aphasia.

Micro Citation Topics	Total Monde 2002-2021	Monde P1 : 2002-2006			Monde P4 : 2017-2021			Ratio Monde P4 / P1	France P4 : 2017-2021			Europe P4 : 2017-2021		
		Nb Pubs	Part	Rang	Nb Pubs	Part	Rang		Nb Pubs	Part	Rang	Nb Pubs	Part	Rang
Baseline	294 840	37 498			126 893			3.4	5 825			46 138		
1.7720 Functional Connectivity	15 746	902	2.4	8	8159	6.4	1	9.0	318	5.5	1	2892	6.3	1
1.52.60 Dementia	10 719	941	2.5	7	4897	3.9	2	5.2	281	4.8	3	2119	4.6	2
4.17.128 Deep Learning	4 750	0	0.0	-	4652	3.7	3	-	103	1.8	11	955	2.1	7
1.113.460 Diffusion Tensor Imaging	11 749	1560	4.2	1	4557	3.6	4	2.9	278	4.8	4	1714	3.7	3
1.7.603 Brain Computer Interface	8 486	1015	2.7	4	4126	3.3	5	4.1	172	3.0	6	1466	3.2	4
1.105.142 Stroke	7 125	862	2.3	10	3255	2.6	6	3.8	299	5.1	2	1316	2.9	5
1.113.453 Glioblastoma	5 460	821	2.2	11	2186	1.7	7	2.7	106	1.8	8	823	1.8	12
1.44.335 Eating Disorders	4 701	449	1.2	18	2155	1.7	8	4.8	67	1.2	17	898	1.9	8
1.113.292 Parallel Imaging	6 084	1069	2.9	2	2108	1.7	9	2.0	84	1.4	14	893	1.9	9
1.203.147 Multiple Sclerosis	5 285	724	1.9	12	2074	1.6	10	2.9	121	2.1	7	1150	2.5	6
1.7.354 Emotion	4 958	607	1.6	13	1906	1.5	11	3.1	83	1.4	15	831	1.8	11
1.105.514 Subarachnoid Hemorrhage	5 522	956	2.5	6	1865	1.5	12	2.0	176	3.0	5	688	1.5	15
1.52.67 Parkinson's Disease	4 025	411	1.1	20	1843	1.5	13	4.5	100	1.7	12	822	1.8	13
1.105.429 Carotid Endarterectomy	5 430	984	2.6	5	1711	1.3	14	1.7	37	0.6	30	563	1.2	20
1.7.191 Aphasia	5 456	1038	2.8	3	1684	1.3	15	1.6	105	1.8	9	844	1.8	10
1.222.542 Epilepsy Surgery	4 841	897	2.4	9	1669	1.3	16	1.9	86	1.5	13	644	1.4	16
1.7.592 Gambling	3 790	263	0.7	29	1515	1.2	17	5.8	47	0.8	23	644	1.4	16
1.134.286 Traumatic Brain Injury	3 246	350	0.9	25	1410	1.1	18	4.0	27	0.5	46	340	0.7	25
1.82.811 Transcranial Magnetic Stimulation	3 376	554	1.5	16	1244	1.0	19	2.2	59	1.0	19	602	1.3	18
1.7.637 Action Observation	3 439	414	1.1	19	1213	1.0	20	2.9	104	1.8	10	716	1.6	14

Tableau 4 – Évolution, par période et par pays, des Citations Topics Micros