

# Étude Brain Health

FICHE THÉMATIQUE 02

## LE DÉVELOPPEMENT NEURONAL

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

Le neurodéveloppement ou développement neuronal réfère au développement du cerveau et des voies de communication essentielles entre les neurones qui permettent son fonctionnement et sa performance optimale. Le neurodéveloppement affecte tous les aspects de notre vie, incluant l'apprentissage, les émotions, la mémoire, l'attention, la socialisation et la capacité de contrôle de soi.

Avant la naissance et pendant la petite enfance, le cerveau est en période de croissance intense. C'est pendant cette période que s'établissent la plupart des connexions entre les neurones. Le cerveau d'un enfant commence à se former pendant la grossesse. Quelques milliers de neurones sont alors créés chaque seconde. Ainsi, quand le bébé vient au monde, son cerveau possède déjà environ 100 milliards de neurones. Afin que le cerveau puisse fonctionner, les neurones doivent se connecter entre eux. Les premières connexions apparaissent quand le bébé est encore dans le ventre de sa mère. Le bébé entend des bruits et des voix, il bouge, il ressent la sensation du liquide amniotique. Ces stimulations aident à améliorer les connexions entre les neurones.

En même temps que des connexions se créent, d'autres se solidifient et d'autres encore, qui ne sont pas utilisées, sont éliminées. Cette capacité du cerveau à transformer ses connexions s'appelle la plasticité cérébrale. Les connexions les plus utilisées deviennent plus fortes et celles qui sont inutiles ou qui fonctionnent mal sont éliminées. En formant et éliminant des connexions, le cerveau accroît son efficacité.

C'est durant la petite enfance, pendant qu'il est en plein développement, que le cerveau se transforme le plus. Il peut ainsi se modifier pour s'adapter aux apprentissages de l'enfant et aux changements qu'il vit.

La plasticité cérébrale aide aussi un tout-petit à récupérer après une lésion au cerveau. Par exemple, si une blessure survient dans une zone du cerveau, les neurones des autres zones prennent parfois le relais et peuvent créer de nouvelles connexions. Ça ne veut pas dire qu'il n'y aura pas de conséquences pour l'enfant. Son cerveau va faire des efforts pour récupérer, mais selon la gravité de la situation, il peut toutefois y avoir des effets sur le plan physique, cognitif, social ou comportemental.

Les troubles du neurodéveloppement (dyspraxie, autisme, dysphasie, déficience intellectuelle, épilepsie, etc.) touchent environ 10 à 15 % des enfants, dont 5 % sont atteints de formes sévères en France. Beaucoup de ces troubles sont des maladies génétiques rares.



### Experts ayant contribué à la fiche

**Fiona Francis** - Institut du Fer à Moulin, UMR-S 1270, INSERM, Sorbonne Université

**Thierry Galli** - Université Paris Cité, IPN, INSERM U1266, GHU PARIS Psychiatrie & Neurosciences



**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, 57 388 publications relatives à cette thématique, 1 590 en 2002 versus 4 398 en 2021, soit une multiplication par 2.8 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
<b>World</b>	<b>57 388</b>	<b>1590</b>	<b>1729</b>	<b>1822</b>	<b>2003</b>	<b>2250</b>	<b>2312</b>	<b>2469</b>	<b>2610</b>	<b>2770</b>	<b>2933</b>	<b>2950</b>	<b>3144</b>	<b>3260</b>	<b>3258</b>	<b>3219</b>	<b>3312</b>	<b>3553</b>	<b>3735</b>	<b>4071</b>	<b>4398</b>
<b>EU28</b>	<b>20 359</b>	<b>580</b>	<b>653</b>	<b>635</b>	<b>719</b>	<b>867</b>	<b>865</b>	<b>907</b>	<b>974</b>	<b>992</b>	<b>1049</b>	<b>1067</b>	<b>1096</b>	<b>1192</b>	<b>1111</b>	<b>1137</b>	<b>1146</b>	<b>1242</b>	<b>1264</b>	<b>1383</b>	<b>1480</b>
USA	22 733	741	842	882	952	1025	1032	1073	1087	1133	1182	1195	1228	1260	1253	1216	1233	1271	1307	1433	1388
China	6 470	20	24	46	69	63	108	161	190	241	302	282	384	399	460	493	493	536	619	734	846
Germany	5 324	142	182	172	177	248	235	230	263	268	243	280	281	309	315	317	306	322	301	348	385
Japan	4 646	182	184	213	238	224	241	254	239	239	230	240	215	220	223	209	245	251	260	261	278
UK	4 557	123	146	145	156	169	186	205	210	232	233	242	232	283	248	242	267	302	268	327	341
Canada	3 571	82	101	102	125	154	144	161	152	188	193	157	217	192	203	209	195	237	249	250	260
<b>France</b>	<b>2 972</b>	<b>89</b>	<b>99</b>	<b>110</b>	<b>114</b>	<b>138</b>	<b>153</b>	<b>149</b>	<b>138</b>	<b>135</b>	<b>150</b>	<b>137</b>	<b>172</b>	<b>160</b>	<b>156</b>	<b>183</b>	<b>162</b>	<b>187</b>	<b>170</b>	<b>190</b>	<b>180</b>
Italy	2 839	73	94	81	77	108	105	131	114	134	151	151	148	167	151	141	178	181	194	228	232
Spain	2 126	68	47	51	76	65	90	76	97	110	113	106	112	105	129	144	127	108	157	170	175
Australia	2 037	38	38	50	55	58	70	65	98	85	81	106	128	131	132	123	143	142	174	150	170
South Korea	1 959	17	27	44	39	56	62	66	83	105	93	98	115	118	146	144	127	144	166	165	144
Netherlands	1 513	36	40	35	42	60	53	51	60	72	72	88	83	98	73	100	97	99	95	124	135
Switzerland	1 415	36	33	44	38	63	67	48	58	64	68	87	73	122	96	66	89	92	88	82	101
Sweden	1 372	35	43	47	78	75	80	62	75	67	66	76	71	82	62	60	67	73	89	90	74
Brazil	1 154	25	18	16	29	19	32	38	55	47	50	49	52	71	72	75	83	96	103	103	121
India	924	9	8	8	14	3	16	28	22	36	34	40	49	39	51	67	76	87	88	130	119
Belgium	838	22	26	19	18	27	21	25	26	42	36	50	49	61	58	53	52	53	57	70	73
Taiwan	747	9	7	12	15	20	26	27	22	36	36	36	55	59	49	43	47	56	51	67	74
Israel	696	26	22	28	23	40	42	38	37	41	30	28	39	45	38	39	34	29	24	46	47
Denmark	595	11	11	16	11	18	22	29	28	32	32	28	33	33	36	40	35	38	48	53	41

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

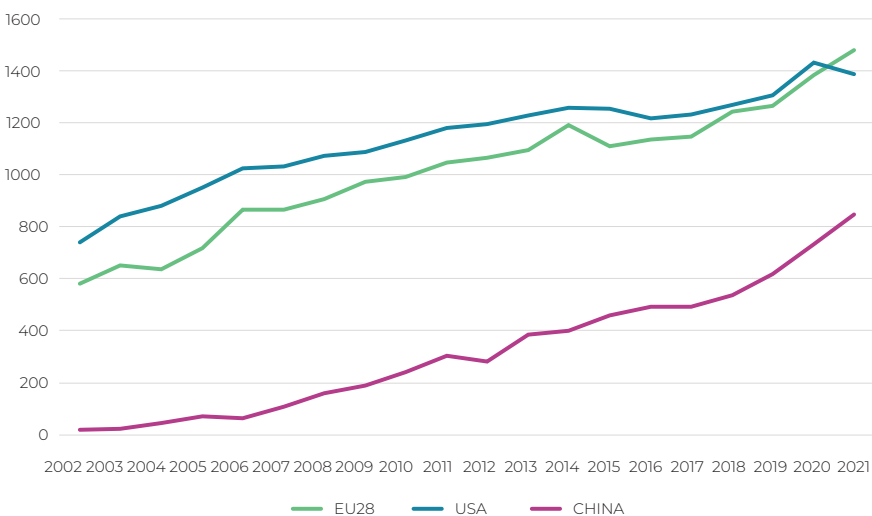
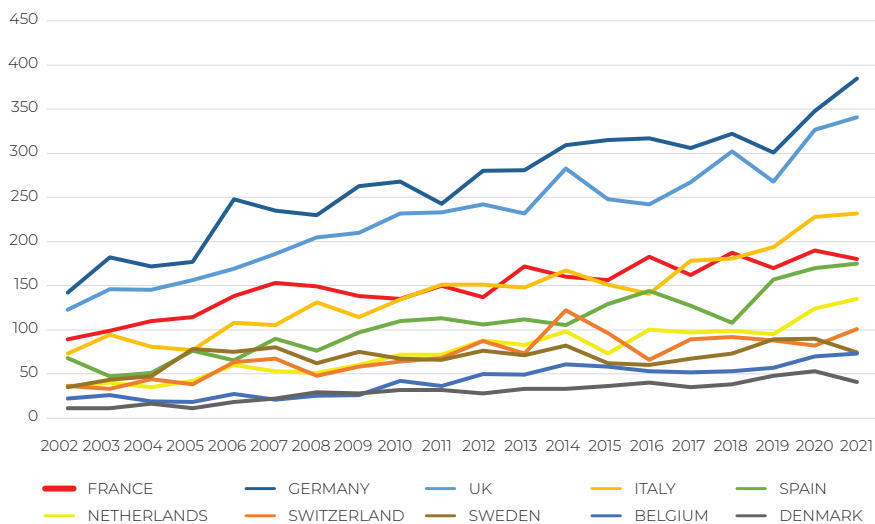


Figure 1 – Évolution des USA, de l'Europe (EU28) et de la Chine

La **Figure 1** montre l'évolution des USA, de l'Europe (EU28) et de la Chine. L'écart entre les productions des USA et de l'Europe se réduit au cours du temps, les productions étant comparables sur les 3 dernières années. La production de la Chine croît rapidement mais reste très en deçà de l'Europe ou des USA. Avec 846 publications en 2021, la Chine se classe au deuxième rang mondial, derrière les USA.



La **Figure 2** fournit l'évolution de la production scientifique des 10 pays européens les plus contributeurs. L'Allemagne et le Royaume-Uni se détachent nettement, l'Allemagne affichant le premier rang en Europe. On retrouve ensuite l'Italie puis la France, l'Italie dépassant la France ces 3 dernières années. Puis l'Espagne qui rejoint la France. Enfin, les Pays-Bas, la Suisse, la Belgique et le Danemark.

Avec 180 publications en 2021, la France se place au 4<sup>e</sup> rang européen et au 8<sup>e</sup> 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.

Figure 2 – Contributions des pays européens

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	57 388	9 394			13 094			15 831			19 069			2.0
EU28	20 359	3 454	36.8		4 787	36.6		5 603	35.4		6 515	34.2		1.9
USA	22 733	4442	47.3	1	5507	42.1	1	6152	38.9	1	6632	34.8	1	1.5
China	6 470	222	2.4	11	1002	7.7	5	2018	12.7	2	3228	16.9	2	14.5
Germany	5 324	921	9.8	3	1239	9.5	2	1502	9.5	3	1662	8.7	3	1.8
Japan	4 646	1041	11.1	2	1203	9.2	3	1107	7.0	5	1295	6.8	5	1.2
UK	4 557	739	7.9	4	1066	8.1	4	1247	7.9	4	1505	7.9	4	2.0
Canada	3 571	564	6.0	5	838	6.4	6	978	6.2	6	1191	6.2	6	2.1
France	2 972	550	5.9	6	725	5.5	7	808	5.1	7	889	4.7	8	1.6
Italy	2 839	433	4.6	7	635	4.8	8	758	4.8	8	1013	5.3	7	2.3
Spain	2 126	307	3.3	8	486	3.7	9	596	3.8	11	737	3.9	11	2.4
Australia	2 037	239	2.5	10	399	3.0	11	620	3.9	10	779	4.1	9	3.3
South Korea	1 959	183	1.9	14	409	3.1	10	621	3.9	9	746	3.9	10	4.1
Netherlands	1 513	213	2.3	13	308	2.4	13	442	2.8	13	550	2.9	12	2.6
Switzerland	1 415	214	2.3	12	305	2.3	14	444	2.8	12	452	2.4	15	2.1
Sweden	1 372	278	3.0	9	350	2.7	12	351	2.2	14	393	2.1	16	1.4
Brazil	1 154	107	1.1	17	222	1.7	15	319	2.0	15	506	2.7	13	4.7
India	924	42	0.4	29	136	1.0	20	246	1.6	17	500	2.6	14	11.9
Belgium	838	112	1.2	16	150	1.1	17	271	1.7	16	305	1.6	19	2.7
Taiwan	747	63	0.7	20	147	1.1	18	242	1.5	18	295	1.5	20	4.7
Israel	696	139	1.5	15	188	1.4	16	189	1.2	19	180	0.9	26	1.3
Denmark	595	67	0.7	19	143	1.1	19	170	1.1	21	215	1.1	22	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 6<sup>e</sup> au 8<sup>e</sup> rang mondial, sa part passant de 5.9 % à 4.7 %. Cette baisse est en partie liée à la progression de la Chine et de l'Italie. Son nombre de publications a augmenté d'un facteur 1.6, augmentation inférieure à la progression mondiale (2.0) mais également inférieure à la progression européenne (1.9). En Europe, forte progression du Danemark (3.2), de la Belgique (2.7), des Pays-Bas (2.6) et de l'Espagne (2.4) qui augmente également sa part de marché, comme l'Italie, les Pays-Bas, la Belgique ou le Danemark. Au niveau mondial, forte progression de l'Inde.

## 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	57 388	1.28	2.03	16.2	1.23	1.70	15.3	1.15	1.45	13.9	1.05	1.12	11.6
EU28	20 359	1.29	1.94	16.0	1.21	1.34	15.0	1.26	1.82	16.0	1.15	1.37	13.2
USA	22 733	1.57	3.04	20.8	1.60	3.00	21.6	1.40	2.15	18.7	1.28	1.99	15.3
China	6 470	0.71	0.45	8.6	0.79	0.40	8.4	0.84	0.45	8.3	1.07	0.99	11.5
Germany	5 324	1.50	2.50	19.9	1.27	1.61	17.1	1.28	1.46	17.3	1.19	1.26	14.6
Japan	4 646	0.97	0.77	10.9	0.94	0.25	11.2	0.86	0.72	8.3	0.88	0.62	7.6
UK	4 557	1.29	1.62	16.4	1.37	1.88	18.3	1.55	2.97	20.8	1.40	2.19	18.4
Canada	3 571	1.44	2.30	20.9	1.34	1.79	17.7	1.43	2.35	19.8	1.26	1.43	15.8
France	2 972	1.33	1.64	16.2	1.26	2.21	16.7	1.31	1.49	17.0	1.18	1.46	13.4
Italy	2 839	1.10	1.39	12.2	1.30	1.73	15.1	1.30	1.45	16.9	1.08	0.49	12.7
Spain	2 126	1.17	2.61	12.7	1.11	0.82	14.2	1.18	1.68	13.9	1.31	1.76	14.1
Australia	2 037	1.37	2.09	17.6	1.15	0.75	15.8	1.31	1.94	16.8	1.15	1.41	14.8
South Korea	1 959	0.81	0.00	9.8	0.97	1.22	11.2	0.96	0.97	10.6	0.96	1.07	10.2
Netherlands	1 513	1.44	2.35	26.8	1.41	1.30	20.8	1.54	1.81	21.0	1.54	2.00	22.9
Switzerland	1 415	1.38	1.40	18.7	1.65	3.61	22.6	1.68	2.93	26.8	1.45	2.43	21.7
Sweden	1 372	1.67	3.24	23.0	1.27	0.57	15.7	1.42	3.13	18.8	1.34	3.31	14.5
Brazil	1 154	0.67	0.00	6.5	0.85	0.45	7.2	0.98	0.94	10.7	0.91	0.99	8.3
India	924	0.82	0.00	11.9	0.89	1.47	10.3	1.01	1.63	14.2	0.80	0.20	8.8
Belgium	838	0.96	0.89	12.5	1.12	2.00	12.7	1.21	1.11	14.4	1.30	1.97	15.7
Taiwan	747	1.08	1.59	14.3	0.97	0.68	12.9	0.92	0.41	11.2	0.91	0.34	8.8
Israel	696	1.41	2.88	20.1	1.48	2.66	20.7	1.52	2.65	15.3	1.29	1.11	20.0
Denmark	595	1.55	2.99	14.9	1.15	2.80	16.1	1.41	2.35	18.8	1.17	0.93	14.0

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

Globalement, la France affiche des indicateurs d'impact ayant des valeurs souvent légèrement supérieures aux valeurs européennes et proches des indicateurs de l'Allemagne. A noter les bonnes performances de plusieurs pays européens, notamment le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Suède, la Belgique ou l'Espagne. De même, nous pouvons identifier des pays ayant une forte production en volume mais avec des indicateurs d'impacts moyens : Japon, la Corée du Sud, l'Inde ou le Brésil.

## C Principales institutions contributrices

En Europe, parmi les institutions ayant les plus fortes contributions, on retrouve dans les 10 premières plusieurs du Royaume-Uni : l'Université de Londres, l'University College et le King's College de Londres, suivis des universités d'Oxford et Cambridge. Viennent ensuite la Max Planck Society et l'Helmholtz Association en Allemagne, suivies de l'Institut Karolinska en Suède. Puis, plusieurs autres institutions allemandes : l'Université libre, l'Humboldt University et La Charité de Berlin ainsi que l'Université de Munich.

On note également des opérateurs nationaux : le CNRS et l'Inserm en France (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> rangs européens), le Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en Espagne et le Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) en Italie.

En France, on retrouve les universités parisiennes et l'AP-HP, suivies des universités d'Aix-Marseille, de Lyon, de Montpellier, de Strasbourg et de 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.

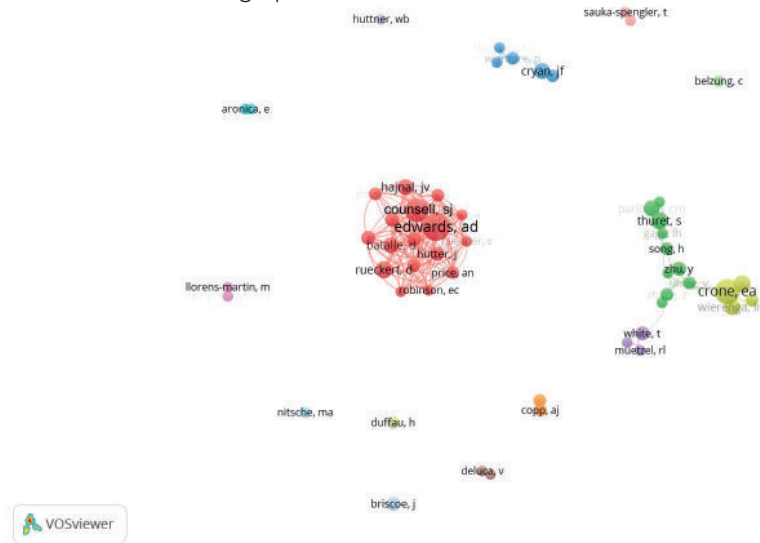


Figure 3 – Cartographie des chercheurs européens publiant dans le Top10%

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 :

- **A David EDWARDS, Serena J COUNSELL et Sandrine THURET** (King'College London, Royaume-Uni)
- **Eveline A CRONE** (Leiden University, Pays-Bas)
- **Daniel RUECKERT** (Technical University of Munich, Allemagne)
- **John F CRYAN** (University College Cork, Irlande)
- **James BRISCOE** (The Francis Crick Institute, Londres, Royaume-Uni)
- **Hugues DUFFAU** (Université de Montpellier, France)
- **Eleonora ARONICA** (Université d'Amsterdam, Pays-Bas)
- **Catherine BELZUNG** (Université de Tours, Inserm, France)

À noter le peu de collaborations entre ces différents chercheurs, ceci pouvant s'expliquer par le fait qu'ils s'intéressent à des pathologies différentes.

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

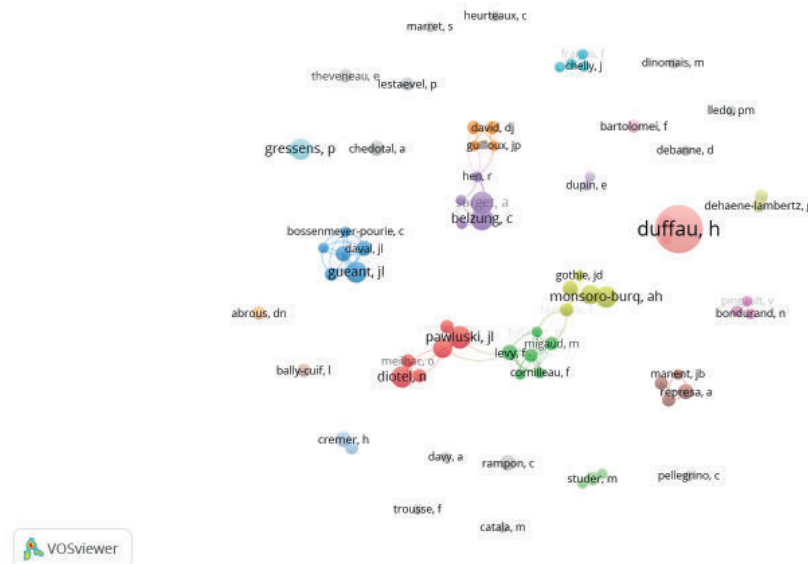


Figure 4 – Cartographie des chercheurs français (articles avec adresse française en Corresponding Author)

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 :

- **Hugues DUFFAU** (Montpellier)
- **Catherine BELZUNG et Alexandre SURGET** (Université de Tours)
- **Jodi L PAWLUSKI** (Rennes)
- **Nicolas DIOTEL** (Saint-Denis, La Réunion)
- **Pierre GRESSENS** (Paris)
- **Jean-Louis GUÉANT** (Nancy)
- **Anne-Hélène MONSORO-BURCQ** (Paris)

On observe à nouveau relativement peu de liens entre les différents clusters observés.

## 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.

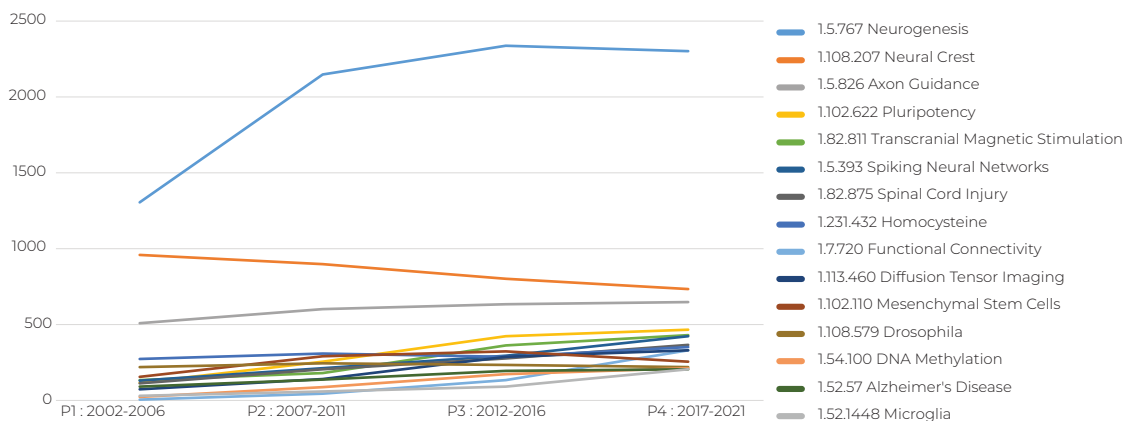


Figure 5 – Évolution des principaux Micro Topics sur les 4 périodes de 5 ans

Sur les 20 dernières années, on remarque la forte augmentation du terme Neurogenesis, la légère baisse du terme Neural Crest et la stabilité du terme Axon Guidance. À noter les 2 termes relatifs à la maladie d'Alzheimer et les lésions de la moelle épinière, qui montrent le caractère translationnel de cette recherche.

On remarque également deux topics fortement représentés au niveau mondial et en Europe mais peu en France : Pluripotency et Spinal Cord Injury.

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
<b>Baseline</b>	<b>57 388</b>	<b>9 394</b>			<b>19 069</b>			<b>2.0</b>	<b>889</b>			<b>6 515</b>		
1.5767 Neurogenesis	8 093	1306	13.9	1	2301	12.1	1	1.8	110	12.4	1	744	11.4	1
1.108.207 Neural Crest	3 396	960	10.2	2	735	3.9	2	0.8	67	7.5	2	254	3.9	3
1.5.826 Axon Guidance	2 395	508	5.4	3	650	3.4	3	1.3	53	6.0	3	271	4.2	2
1.102.622 Pluripotency	1 262	116	1.2	11	467	2.4	4	4.0	9	1.0	16	153	2.3	6
1.82.811 Transcranial Magnetic Stimulation	1 110	136	1.4	9	430	2.3	5	3.2	15	1.7	8	185	2.8	4
1.5.393 Spiking Neural Networks	1 063	131	1.4	10	425	2.2	6	3.2	28	3.1	4	175	2.7	5
1.82.875 Spinal Cord Injury	963	115	1.2	12	366	1.9	7	3.2	7	0.8	22	83	1.3	12
1.231.432 Homocysteine	1 226	274	2.9	4	351	1.8	8	1.3	15	1.7	8	82	1.3	13
1.7.720 Functional Connectivity	520	7	0.1	150	333	1.7	9	47.6	15	1.7	8	111	1.7	8
1.113.460 Diffusion Tensor Imaging	836	75	0.8	19	332	1.7	10	4.4	16	1.8	7	124	1.9	7
1.102.110 Mesenchymal Stem Cells	1 026	156	1.7	7	255	1.3	11	1.6	6	0.7	26	65	1.0	15
1.108.579 Drosophila	922	222	2.4	5	220	1.2	12	1.0	14	1.6	11	85	1.3	10
1.54.100 DNA Methylation	497	23	0.2	68	212	1.1	13	9.2	7	0.8	22	68	1.0	14
1.52.57 Alzheimer's Disease	632	93	1.0	16	207	1.1	14	2.2	4	0.4	41	58	0.9	16
1.52.1448 Microglia	389	30	0.3	55	205	1.1	15	6.8	10	1.1	13	50	0.8	20
1.5.810 Nerve Growth Factor	602	208	2.2	6	98	0.5	32	0.5	3	0.3	55	29	0.4	43
1.134.286 Traumatic Brain Injury	493	53	0.6	32	195	1.0	16	3.7	5	0.6	32	46	0.7	24
1.222.542 Epilepsy Surgery	593	141	1.5	8	184	1.0	17	1.3	17	1.9	6	84	1.3	11
1.196.68 MicroRNAs	536	11	0.1	122	184	1.0	17	16.7	6	0.7	26	47	0.7	22
1.257.1449 Syringomyelia	312	46	0.5	40	161	0.8	19	3.5	1	0.1	104	29	0.4	43

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