



**HAL**  
open science

# Pénétrance des concepts transhumanistes et espérance de vie en état de santé optimal souhaitée par les médecins français en 2017

Quentin Pernaud-Dauverchain

## ► To cite this version:

Quentin Pernaud-Dauverchain. Pénétrance des concepts transhumanistes et espérance de vie en état de santé optimal souhaitée par les médecins français en 2017. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01780397

**HAL Id: dumas-01780397**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01780397>**

Submitted on 27 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



LES BIBLIOTHÈQUES DE L'UNIVERSITÉ

Ce document est une oeuvre de l'esprit, à ce titre il est protégé par le droit d'auteur (article L. 111-1 du Code de la propriété intellectuelle).<sup>1</sup>

Son utilisation implique le respect des règles de citation et de référencement en vigueur (Article L122-5).

Tout usage en violation des droits de son auteur constitue une contrefaçon donnant lieu à des poursuites pénales (Article L335-2 et Article L335-3).

---

1

[https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=483DA81744755A8B8693367B094CBB79.tplgfr25s\\_1?cidTexte=LEGITEXT000006069414&dateTexte=20171108](https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=483DA81744755A8B8693367B094CBB79.tplgfr25s_1?cidTexte=LEGITEXT000006069414&dateTexte=20171108)



Université de la Réunion  
UFR Santé de la Réunion

Année 2017

N°2017LARE003M

**THÈSE  
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE  
DOCTEUR EN MÉDECINE**

*Titre : Pénétrance des concepts Transhumanistes et espérance de vie  
en état de santé optimal souhaitée par les médecins en 2017*

Présentée et soutenue publiquement  
le 29 septembre 2017

Par  
Quentin PERNAUD-DAUVERCHAIN  
Né le 09/06/1988 à Montpellier (34)

Dirigée par Monsieur le Docteur Guillaume PLAISANTIN

Jury :

Présidente : Madame le Professeur Bérénice DORAY

Premier assesseur : Monsieur le Professeur Jean Marc FRANCO (PU)

Deuxième assesseur : Monsieur le Docteur Sébastien LERUSTE (MCU)

Monsieur le Docteur Guillaume PLAISANTIN

*« Je m'invente aujourd'hui des chemins de traverse.  
Je ne suis plus de chez vous.  
J'attends des mutants.  
Biologiquement, je m'arrange avec l'idée que je me fais de la biologie »*

La Solitude, Léo Ferre

## Remerciements

En premier lieu, je souhaiterais adresser ma gratitude à Madame la Professeure Bérénice DORAY du service de Génétique du CHU Félix Guyon à LA REUNION pour avoir accepté de présider ce jury de thèse et pour l'intérêt spontané qu'elle a manifesté pour mon travail.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur Jean Marc FRANCO chef du service du département de Médecine Générale pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.

Je souhaiterais aussi exprimer ma gratitude à Monsieur le Docteur Sébastien LERUSTE pour son aide et son intérêt tout au long de mon travail. Je le remercie aussi pour son accueil chaleureux à chaque fois que j'ai sollicité son aide. Enfin, je le remercie d'avoir accepté la fonction de rapporteur pour ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur le Docteur Guillaume PLAISANTIN, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de diriger cette thèse.

J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité et ses nombreux conseils durant la rédaction de ma thèse, j'ai particulièrement apprécié la bienveillance spontanée qu'il m'a accordée.

Enfin je souhaiterais avoir une pensée pour Monsieur le Docteur Patrick Gaillard et pour son aide précieuse pour mon travail préliminaire de recherche.

Je désirerais aussi exprimer ma reconnaissance pour l'intérêt dont ils ont fait preuve envers ma recherche et les moyens qu'ils ont mis en œuvre pour m'aider dans la diffusion du questionnaire : le CHU de Nantes, l'Association des internes de Tours, , l'Association des Internes et Chefs de clinique de Besançon, le Syndicat Autonomes des Internes en Exercices des Hôpitaux de Clermont-Ferrand, l'Association des Internes en Exercice des Hôpitaux de Lille, l'Association des internes de Médecine Générale de Lille et le Comité des Internes de Reims Champagne Ardenne ainsi que les médecins du CHU de Saint Denis de la Réunion sans qui cette thèse n'aurait pu être possible.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la disponibilité et l'accueil chaleureux que m'a témoigné le Dr Anne-Marie De Montera, Chef de service du Département d'Information Médical du Centre Hospitalier de Mayotte.

Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse, Leurs attentions et encouragements m'ont accompagné tout au long de ces années. Je suis redevable à ma famille, mes parents, mon frère et mes sœurs pour leur soutien et leur engagement à mes côtés depuis le début de mes études mais aussi pour la place qu'ils ont dans ma vie.

Je souhaite avoir une pensée émue pour mon grand-père, le Professeur Jean Dauverchain qui a nourri mon amour de la médecine et Rosie Dauverchain, ma grand-mère, qui a su entretenir sa mémoire et l'admiration que je lui porte.

Une pensée pour tous les Idiots (les twins, le bamb, déché et le Bif) avec qui j'ai vécu mes plus belles années, de la corpo jusqu'à présent, ce sont mes amis de vie, mes colocs (Jo, Coco, et Emilie) qui ont été ma nouvelle famille à la Réunion et enfin tous mes amis de l'internat de Mayotte.

Aussi, je souhaiterais remercier tous ceux que j'ai rencontré au dispensaire de Moorea, pour leur accueil mais aussi pour m'avoir ouvert les yeux sur une autre Médecine, celle de la santé primaire.

J'exprime ma gratitude à tous les médecins que j'ai rencontré au cours de mes stages d'interne en Océan Indien qui ont toujours su être disponibles pour moi, une pensée particulière pour le Dr Madeline Barba et le Dr Laurent Salza pour leur accueil et leur confiance dans leur cabinet.

Enfin, j'adresse ma reconnaissance aux auteurs du site [iatranshumanisme.com](http://iatranshumanisme.com) pour leur travail, leurs publications, rapports, thèses et études qui ont nourri ma curiosité et mon appétit de nouvelles informations sur le Transhumanisme.

# Table des matières

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	6
TABLE DES ILLUSTRATIONS.	11
TABLE DES FIGURES.	12
TABLE DES TABLEAUX.	13
LISTE DES ABREVIATIONS	14
PLAN DE DEVELOPPEMENT	15
<b>PREMIERE PARTIE :</b>	<b>17</b>
<b>HISTOIRE ET CONCEPTS DU TRANSHUMANISME</b>	<b>17</b>
DEFINITION ET HISTOIRE DU TRANSHUMANISME	18
1. <i>Mouvement Transhumaniste</i>	18
2. <i>Le projet Transhumaniste</i>	18
3. <i>Définition du Transhumanisme</i>	19
4. <i>Posthumanisme</i>	20
5. <i>Histoire du transhumanisme</i>	21
6. <i>Converging Technologies for Improving Human Performance</i>	22
6.1 Développer la cognition et la communication humaines.	22
6.2 Améliorer la santé humaine et les capacités physiques.	22
<b>DEUXIEME PARTIE :</b>	<b>25</b>
<b>TRANSHUMANISME DES MULTINATIONALES</b>	<b>25</b>
TRANSHUMANISME DES MULTINATIONALES ET UNIVERSITAIRES : L'EXEMPLE D'ALPHABET	26
6.3 Composition d'Alphabet	26
6.4 Capitalisation boursière	27
6.5 Calico : California Life Company	28
6.6 X : Google X Lab	29
6.7 Verily Life Sciences	29
6.8 DeepMind	30
6.9 23andMe	31
<b>TROISIEME PARTIE :</b>	<b>33</b>
<b>REVUE DES AVANCEES REELLES OU SUPPOSEES DE CHAMP DU TRANSHUMANISME</b>	<b>33</b>
NANOTECHNOLOGIE	34
1. <i>Nanoparticule et thérapeutique</i>	34
1.1 Vectorisation	34
1.2 Nanoparticule et Radiothérapie	36
2. <i>Respirocytes (hypothétique)</i>	37
3. <i>Nanomatrice d'intelligence artificiel de dépistage</i>	37
BIOTECHNOLOGIE	40
1. <i>Technologie de Modification du génome</i>	40
1.1 CRISPR/Cas9	41
1.1.1 Modification du génome par CRISPER	42
1.2 Chromosome artificiel	42
1.2.1 JCVI-syn1	43
1.2.2 Ultimate Yeast Genome	44
2. <i>Séquençage génétique</i>	44
2.1 Application commerciale du séquençage génétique : le diagnostic moléculaire	45
2.2 Séquençage génétique et Oncologie	46
2.2.1 International Cancer Genome Consortium	46
2.3 Traitement personnalisé.	46
2.4 Séquençage et révolution Métagénomique	48
2.5 Séquençage et intelligence : Le Beijing Genomics Institute	49
3. <i>Cellules Souches</i>	50

3.1	Généralité sur les Cellules Souches .....	50
3.2	Cellules souches pluripotentes induites .....	51
3.2.1	Principes des iPSC .....	51
3.2.2	Exemple d'application des CSPI .....	52
	Remplacement de tissu nécrosé ou laissé (Médecine régénérative .....	52
3.2.2.1	Cellule souche et thérapie génique .....	53
3.3	Cellule souche et réversibilité du vieillissement.....	54
4.	<b>Biotechnologie : Clonage thérapeutique et reproductif</b> .....	54
4.1	Type de Clonage .....	55
4.1.1	Clonage Thérapeutique .....	55
4.1.2	Clonage Reproductif .....	56
4.1.2.1	Le clonage somatique : un état des lieux chez les bovins et les petits ruminants par Y.HEYMAN de L'INRA 57	
	Nombre d'animaux obtenus .....	57
	Connaissance des animaux clonés .....	58
	Longévité des animaux Cloné .....	58
4.2	Aspect éthique et législatif.....	58
5.	<b>Biotechnologie et ectogenèse : l'utérus artificiel</b> .....	59
5.1	Développement des embryons .....	59
5.1.1	L'endomètre Artificiel de Hung-Ching .....	60
5.1.2	Par-delà la limite éthique des 14 jours .....	60
5.2	L'utérus artificiel.....	61
5.2.1	Prolongé la durée de développement des embryons animaux in vitro .....	61
6.	<b>Suspension Cryonique</b> .....	63
6.1	Cryoprotection .....	64
6.2	Aspects pratiques et législatifs .....	64
7.	<b>Biotechnologie, opinions publique et législation</b> .....	65
7.1	Etude "The Public and the Gene Editin Revolution" .....	65
7.1.1.1	Connaissance scientifique .....	65
7.1.1.2	Thérapie génique a visée curative. ....	66
7.1.1.3	Modification du génome .....	66
7.1.1.4	Modification de l'intelligence et trait physique .....	66
7.1.1.5	Test de dépistage génétique .....	66
7.2	Les Français et la technique du CRISPRCas9 sondage Ifop pour Alliance Vita .....	67
7.3	Modification génétique des embryons humains et législation dans le monde .....	68
	INFORMATIQUE .....	70
1.	<b>Uploading</b> .....	70
1.1	Le Mindfile, la voie de la sauvegarde de la conscience. ....	70
1.1.1	Conscience Transférée BINA 48 .....	71
1.2	La voie du clonage cérébral numérique .....	71
1.2.1	Première étape : scanner les structures cérébrales : I <sup>2</sup> BM Institut d'imagerie Biomédicale .....	72
1.2.1.1	NeuroSpin .....	72
1.2.1.2	MIRcen, Molecular Imaging Research Center .....	73
1.2.2	Deuxième étape : développer une interface qui transforme les données anatomiques et moléculaires en simulation de cerveau : l'Humain Brain Project .....	73
1.2.2.1	Blue Brain .....	74
2.	<b>Cyborg</b> .....	75
2.1	Prothesing .....	76
2.1.1	Prothesing de remplacement de membre .....	76
2.1.2	Exosquelette. ....	76
2.1.3	Prothèse d'organe .....	78
2.1.3.1	Cœur artificiel .....	78
2.1.3.2	Larynx artificiel .....	79
2.2	Impression d'organe.....	81
2.2.1	Biotissus tridimensionnelle Organovo .....	81
2.3	Les implants Cérébraux .....	82
2.3.1	Le Stimoceiver de José Delgado le précurseur en recherche des Brain-Computer Interface .....	82
2.3.2	Projet Cyborg : Kevin Warwick .....	83
2.3.3	Les interface Neuronale Directe .....	83
2.3.4	Interface cerveau-cerveau .....	84
2.3.5	Interfaces cerveau-ordinateur affectives (aBCI) .....	85

3.	<i>Domotique dans les systèmes de santé</i>	86
3.1	Robots Paramédicaux	87
3.1.1	VasculoLogic	87
3.1.2	ROBEAR	87
3.2	<i>Système de livraison HOSPI-R</i>	88
3.3	L'aide opératoire : Da Vinci	88
3.4	Sedasys : Système Personnalisé de Sédation assisté par ordinateur	89
3.5	Domotique dans le système de santé et opinion publique	89
SCIENCE COGNITIVE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE		90
1.	<i>Puissance de Calcul informatique</i>	90
1.1	Les Calculateurs Haute Performance	90
1.2	Ordinateur Quantique	91
1.2.1	Principe	91
1.2.2	D-Wave	93
1.2.3	Application Médicale	93
1.2.3.1	Photodynamique thérapeutique	93
1.2.3.2	Structure des protéines	94
2.	<i>Intelligence Artificielle</i>	95
2.1	Du Deep Learning et réseau neuronal convolutif	95
2.1.1	Deep Learning et réseaux neuronaux en couches	95
2.1.2	Réseau neuronal convolutif	96
2.2	DeepLearning la cryptographie structure du langage	97
3.	<i>L'algorithme et la mécanisation des professions intellectuelles</i>	98
3.1	Le recrutement prédictif : un exemple de mécanisation des professions intellectuelles	98
3.2	IBM et la Techno-Médecine : l'algorithme et la pratique clinique	99
4.	<i>Modèle génératif et imagerie computationnelle</i>	100
4.1	Principe : le patient numérique personnalisé	100
4.2	Microscope informatique pour quantifier l'atrophie cérébral	101
4.3	Endomicroscopie	102
4.4	Modèle prédictif en cardiologie	102
<b>QUATRIEME PARTIE : SENESCENCE NEGLIGEABLE : DEFINITION ET PERSPECTIVES</b>		<b>103</b>
SENESCENCE NEGLIGEABLE		104
1.	<i>Définition de l'espérance de vie</i>	104
1.1	Les chiffre de l'espérance de vie en 2016	104
1.2	Variation de l'EDV	104
1.3	Inégalité Homme Femme	105
1.4	Projection de l'Insee	106
1.5	EDVSI	106
1.6	Facteur influant de l'EDV	107
1.7	Les limites de l'EDV	107
2.	<i>Sénescence négligeable</i>	107
3.	<i>Esperance de vie augmentée</i>	108
3.1	La restriction alimentaire	109
3.2	Sénescence cellulaire	110
3.2.1	Définition	110
3.2.2	La sénescence cellulaire et espérance de vie	110
3.3	Cellule Souche	111
3.4	Téломère et Télomase	111
4.	<i>Espérance de vie et perspective individuelle et collective</i>	112
4.1	Problématique de la surpopulation	112
4.2	L'opinion des français : Sondage OpinionWay pour SwissLife	113
<b>ARTICLE DE THESE : ETUDE SUR ESPERANCE DE VIE EN ETAT DE SANTE OPTIMAL SOUHAITE PAR LES MEDECINS FRANÇAIS EN 2017</b>		<b>115</b>
INTRODUCTION		117
4.1	Le transhumanisme	117
MATERIEL ET METHODE		119
1.	<i>Type d'étude</i>	119
2.	<i>Population</i>	119

3.	<i>Critères d'inclusion</i>	119
4.	<i>Critère de jugement principal</i>	119
4.1	Critère de jugement premier	119
4.2	Critère de jugement premier second	119
5.	<i>Critères de jugements secondaires</i>	120
6.	<i>Composition du questionnaire</i>	120
6.1.1	Diffusion du questionnaire	122
7.	<i>Analyse statistique</i>	123
7.1	Questionnaire	123
7.2	Anonymat et consentement	123
7.3	Analyse	123
<b>RESULTAT</b>		<b>124</b>
1.	<i>Questionnaire</i>	124
1.1	Résultats de la Diffusion	124
1.2	Participation	124
1.3	Population	125
1.3.1	Age	125
1.3.2	Genre	125
1.3.1	Spécialité	125
1.3.2	Vie après la mort	125
1.4	<i>Critère de Jugement principal</i>	125
1.4.1	Résultat du CJP total et en fonction du sexe	126
1.4.2	Résultat du CJP total et en fonction de l'âge	127
1.4.1	Résultat du CJP total et en fonction de la croyance de la vie après la mort.	128
1.5	<i>Pénétrance des problématiques Transhumanistes.</i>	128
1.5.1	Pénétrance des problématiques Transhumanistes résultats globaux	128
1.5.1.1	IVG	128
1.5.1.2	Choix des caractéristiques chez les enfants par les parents	128
1.5.1.3	Etude des cellules souches	129
1.5.1.4	Prothesing et implants cérébraux	129
1.5.1.5	Uploading et cryogénéisation	129
1.5.1.6	Egalité de droit	130
1.5.1.7	Clonage	130
1.5.1.8	Ectogénese	130
1.5.1.9	Modification de génome	130
1.5.2	Résultats globaux, mélioratif/curatif	131
1.5.3	Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction du sexe	132
1.5.4	Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de l'âge	133
1.5.5	Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort.	134
1.6	<i>Indice de pénétrance Transhumaniste</i>	136
1.6.1	Les items sélectionnés étaient :	136
1.6.2	Echelle du score	136
1.6.3	Résultat de l'indice de pénétrance Transhumaniste (IPT)	137
1.6.3.1	Résultat IPT globale et en fonction du sexe	137
1.6.3.2	Résultat de l'IPT en fonction de l'âge	138
1.6.3.3	Résultat de l'IPT en fonction de la croyance en la vie après la mort	138
1.6.3.3.1	Résultat de l'IPT en fonction de la spécialité	139
<b>DISCUSSION</b>		<b>141</b>
1.7	<i>Population de l'étude</i>	141
1.8	<i>Esperance de vie</i>	141
1.9	<i>Pénétrance Transhumaniste</i>	143
1.9.1.1	IVG	143
1.9.1.2	Choix des caractéristiques chez les enfants par les parents et cellules souches.	143
1.9.1.3	Prothesing et implants cérébraux	143
1.9.1.4	Uploading et cryogénéisation	143
1.9.1.5	Egalité de droit	143
1.9.1.6	Ectogénese	144
1.9.1.7	Dualité Curatif.Mélioratif	144
1.10	<i>Indice de pénétrance Transhumaniste</i>	145
1.11	<i>Critique</i>	145
1.12	<i>Ouvertures</i>	146

1.13	Réflexions .....	146
CONCLUSION	_____	148
<b>ANNEXE</b>	_____	<b>149</b>
1.	<i>Annexe 1 : Déclaration Transhumaniste</i> _____	149
2.	<i>Annexe 2 : liste des pathologie, phénotype et profil de réponse aux traitement dépisté par 23andMe</i> _____	150
3.	<i>Annexe 3 : Résultats de l'étude "Public attitudes about Gene Therapy or Gene Editing"</i> _____	152
4.	<i>Annexe 4 : Espérance de vie à divers âges, France métropolitaine</i> _____	153
5.	<i>Annexe 5 : EDV et EVSI selon l'EHLEIS de l'Union Européenne.</i> _____	154
6.	<i>Annexe 6 : Questionnaire</i> _____	155
7.	<i>Annexe 7 : Liste des Hôpitaux, clinique et Association contacté</i> _____	159
8.	<i>Annexe 8 : Liste des spécialités</i> _____	164
9.	<i>Annexe 9: Résultats détaillé du critère de jugement principales</i> _____	165
10.	<i>Annexe 10 tableaux de résultats</i> _____	172
11.	<i>Annexe 11 Compilation des principaux commentaires</i> _____	177
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	_____	<b>184</b>
<b>RESUME</b>	_____	<b>191</b>
<b>ABSTRACT</b>	_____	<b>192</b>
<b>SERMENT D'HIPPOCRATE</b>	_____	<b>194</b>

## Table des illustrations.

Illustration 1 : Organigramme d'alphabet.....	26
Illustration 2 : Top 20 des plus grosses capitalisations boursières.....	27
Illustration 3 : Profil génétique généalogique d'après 23andme.....	32
Illustration 4 : Vectorisation, principe actif encapsulé dans une bicouche lipidique.....	35
Illustration 5 : Architecture du respirocyte.....	37
Illustration 6 : L'enzyme CRISPR/CAS9.....	41
Illustration 7 : Synthèse du chromosome artificiel JCVI-syn1.0.....	43
Illustration 8 : Cellule souche et réversibilité du vieillissement. ....	54
Illustration 9 : Clones somatiques issus d'une vache donneuse. ....	57
Illustration 10 : Un agneau pris en photo dans un utérus artificiel. ....	63
Illustration 11 : Interview de BINA48 ....	71
Illustration 12 : reconstruction à haut débit de comportements morpho-électriques.....	75
Illustration 13 : Prothèse de main Bebionic.....	76
Illustration 14 : Implant Stentrode.....	77
Illustration 15 : Colonne vertébrale artificielle.....	78
Illustration 16 : Schéma cœur CARMAT.....	79
Illustration 17 : Schéma larynx artificiel.....	80
Illustration 18 : Photo de Neil Harisson et de son eyeborg.....	84
Illustration 19 : Retrocontrôle sur interface cerveau-cerveau.....	85
Illustration 20 : VenousPro de Vasculogic.....	87
Illustration 21 : Photo du robot HOSPI-R ....	88
Illustration 22 : Photo du Da Vinci opératoire (console et bras).....	88
Illustration 23 : DeepDream et le test de Rorsharch ....	97
Illustration 24 : mécanisation des professions intellectuelles ....	99
Illustration 25 : Reconstruction 3D par imagerie computationnelle.....	101
Illustration 26 : Modèle virtuel de simulation cardiaque.....	102
Illustration 27 : Evolution de l'EDV en France depuis 1750.....	105
Illustration 28 : Edv en France selon le sexe ....	106
Illustration 29 : Effet de l'activation de PTEN chez le C.Elegans. ....	109

## Table des figures.

Figure 1 Diagramme de flux.....	124
Figure 2 Répartition des valeurs de choix d'espérance de vie.....	126
Figure 3 Résultat du CJP en fonction du sexe.....	126
Figure 4 Choix de l'espérance de vie en fonction de la tranche d'âge.....	127
Figure 5 Choix de l'espérance de vie en fonction de la croyance en la vie après la mort.....	128
Figure 6 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction du sexe.....	132
Figure 7 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de l'âge.....	133
Figure 8 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort.....	135
Figure 9 IPT total et en fonction du sexe.....	137
Figure 10 IPT en fonction de l'âge.....	138
Figure 11 IPT en fonction de la croyance en la vie après la mort.....	138

## **Table des tableaux.**

Tableau 1 : Taux de réponse et de participation au courriel de contact.....	124
Tableau 2 : Répartition des participants en fonction de l'âge.....	125
Tableau 3 : répartition des valeurs du scores de l'IPT.....	137
Tableau 4 : Résultat de l'IPT total et en fonction des spécialités médicales.....	140

## Liste des abréviations

<b>ADN</b> : acide désoxyribonucléique	<b>EPFL</b> : École polytechnique fédérale de Lausanne
<b>AFT</b> : Association Française Transhumaniste – Technoprog	<b>EVSI</b> : EdV sans incapacité
<b>AMM</b> : Autorisation de mise sur le marché	<b>FAQ</b> : Foire aux questions
<b>ANSM</b> : Agence National de Sécurité du Médicament	<b>FDA</b> : Food and Drug Administration
<b>AP-HP</b> : Assistance publique - Hôpitaux de Paris	<b>FIV</b> : Fécondation in vitro
<b>ARS</b> : Agence régional de Santé	<b>FIVET</b> : Fécondation in vitro et transfert embryonnaire
<b>BCI</b> : Brain-computer Interface	<b>FLOP</b> : Opération en virgule flottante par seconde
<b>BGI</b> : Beijing Genomics Institute	<b>GATK</b> : Genome Analysis ToolKit
<b>BMR</b> : bactéries multi-résistantes	<b>GSK</b> : GlaxoSmithKline
<b>BTBI</b> : Brain-to-brain interface	<b>G6PD</b> : Glucose 6 phosphate déshydrogénase
<b>Cas9</b> : CRISPR associated protein 9	<b>HBP</b> : Humain Brain Project
<b>CCNE</b> : Comité Consultatif National d’Ethique	<b>HBR</b> : Harvard Business Review
<b>CEA</b> : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	<b>HPC</b> : calculatrice haute performance
<b>CEC</b> : Circulation extracorporelle	<b>IA</b> : Intelligence Artificielle
<b>CEO</b> : Chief of Executive Officer	<b>IBM</b> : International Business Machines Corporation
<b>CHP</b> : Centres Hospitaliers Périphériques	<b>ICD</b> : Immunogenic Cell Death
<b>CHT</b> : Clonage humain thérapeutique	<b>ICSI</b> : Injection intra-cytoplasmique de spermatozoïdes,
<b>CHU</b> : Centre Hospitalier Universitaire	<b>ICGC</b> : International Cancer Genome Consortium
<b>CIPD</b> : Chartered Institute of Personnel and Development	<b>IETS</b> : International Embryo Transfer Society
<b>CNN</b> : Réseau de neurones à convolution (network)	<b>IMRaD</b> : Introduction, Méthode, Résultats et (and) Développement
<b>CNRS</b> : Centre National de Recherche Scientifique	<b>IND</b> : interface neuronale directe
<b>COV</b> : Composés Organiques Volatiles	Inc. : Incorporation
<b>CRISPR</b> : Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats	<b>INSEE</b> : Institut national de la statistique et des études économique
<b>CROM</b> : Conseil Régional de l’Ordre des Médecins	<b>INSERM</b> : Institut national de la santé et de la recherche médicale
<b>CSCS</b> : Swiss National Supercomputing Center	<b>INRA</b> : Institut National de la recherche Agronomique
<b>CSE</b> : Cellules souches embryonnaire	<b>IPT</b> : Index de pénétrance transhumaniste
<b>CSM</b> : Cellules souches multipotentes	<b>IRCL</b> : Institut pour la recherche sur le cancer de Lille
<b>CSPi</b> : Cellules Souches Pluripotentes induites	<b>IRM</b> : Imagerie par résonance magnétique
<b>DFA</b> : Analyse factorielle discriminante	<b>IRCL</b> : Institut pour la recherche sur le cancer de Lille
<b>EdV</b> : Espérance de vie	<b>ISO</b> : Organisation internationale de normalisation
<b>EHES</b> : l’Ecole des Hautes études en sciences sociale	<b>ISR</b> : Integrated Stress Response
<b>EHLEIS</b> : European Joint Action on Healthy Life Years	<b>LDL</b> : Low Density Proteins

**LERMIT** : Laboratoire d'Excellence (LabEx) en Recherche sur le Médicament et l'Innovation Thérapeutique  
**LUCA** : Last Universal Common Ancestor  
**MIT** : Massachusetts Institute of Technology  
**NBIC** : Nanotechnologies, biotechnologies, informatique et sciences cognitives  
**NGS** : Séquençage de nouvelle génération  
**NIMH** : National Institute of Mental Health  
**NSF** : National Science Fondation  
**NSP** : National Science Fondation  
**OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Économiques  
**OGM** : Organismes Génétiquement Modifiés  
**OHF** : Oscillations à haute fréquence  
**OHGM** : Organisme Humain Génétiquement Modifié.  
**PCR** : Réaction en Chaîne de la Polymérase  
**PDE** : Phosphodiesterases  
**PDT** : Thérapie photodynamique

**PEG** : PolyEthylèneGlycol  
**PMA** : Procréation médicalement assistée  
**PTEN** : Phosphatase and TENsin homolog mutated in multiple advanced cancers 1  
**PwC**: PricewaterhouseCoopers  
**SBS** : séquençage par synthèse  
**SNP** : Single Nucleotide Polymorphisms  
**SITC** : la Society for Immunotherapy of Cancer  
**TAME** : Targeting Aging with Metformin  
**TEC** : Transfert d'embryons congelés  
**TEP** : Tomographie par émission de positons  
**UCSF**: University of California San Francisco:  
**UNIRS** : Unité d'Imagerie par Résonance magnétique et de Spectroscopie  
**US** : United States  
**USA** : United States of America  
**USPIO** : Ultrasmall SuperParamagnetic Iron Oxide  
**WTA** : World Transhumaniste Association

## Plan de développement

Cette thèse d'exercice est constituée de quatre parties et d'un article de recherche.

Dans la Première Partie, nous commencerons par définir le mouvement et le projet Transhumaniste.

Nous reviendrons sur l'histoire de ce mouvement depuis la création en 1998, par les philosophes Nick Bostrom et David Pearce de la *World Transhumanist Association* WTA avec la publication de la déclaration Transhumaniste, jusqu'à aujourd'hui avec l'Association *Humanit+* en nous appuyant notamment sur le travail de la sociologue Michelle Robitaille intitulée : « *Culture du corps et technosciences : vers une « mise à niveau » technique de l'humain ? Analyse des représentations du corps soutenu par le mouvement Transhumaniste* ».

Dans la Seconde Partie nous nous intéresserons à la place du courant Transhumaniste et des penseurs de ce mouvement dans les multinationales numériques autour de l'exemple du géant *Alphabet Inc.*, et de sa collaboration avec les Universités de la Silicon Valley.

Dans la troisième partie, nous étudierons les différentes technologies NBIC, Nanotechnologie, Biotechnologie, l'ectogenèse, avec les perspectives de l'utérus artificiel, la réminiscence de la recherche sur la cryogénisation, la technologie de l'uploading, l'alliance homme-machine avec l'apparition des premiers cyborgs et enfin le développement d'une intelligence artificielle.

Nous appuierons nos explications sur des exemples concrets de recherches scientifiquement validées ainsi que sur des recherches hypothétiques « *peut-être* » réalisables dans un futur proche.

Cette liste loin d'être exhaustive a pour ambition de légitimer le questionnement auquel l'article de cette thèse souhaite répondre à savoir « *l'espérance de vie en état de santé optimale souhaitée par les médecins français, en 2017* » mais aussi *la pénétrance des concepts Transhumaniste dans la société médicale française*.

Toujours afin de légitimer ce questionnement, nous reviendrons, dans la Quatrième Partie, sur les possibilités d'augmentation d'espérance de vie scientifiquement validée sur le modèle animal et sur les perspectives que des études sur le stress oxydatif et sur les cellules-souches, ouvrent pour les humains.

Pour finir, nous présenterons notre article de recherche de médecine qui respecte la structure classique IMRaD (Introduction, Méthode, Résultats et (and) Développement) dans lequel nous expliquerons l'étude que nous avons effectué par diffusion d'un questionnaire Internet, adressé à l'ensemble des médecins et internes Français en exercice, en 2017, pour lequel nous avons reçu 560 réponses.

Les objectifs de ce questionnaire étaient d'établir en premier lieu l'espérance de vie en état de santé optimal souhaité personnellement et individuellement pour les médecins et internes français en 2017 et en second lieu d'établir la pénétrance des concepts Transhumanistes chez les médecins français en évaluant les transgressions acceptables des frontières éthiques vis-à-vis des recherches médicales et scientifique du champ Transhumaniste développé en première partie.

Enfin, nous présenterons les résultats et la discussion de cette étude observationnelle.

**Première Partie :  
Histoire et concepts du  
Transhumanisme**

## Définition et histoire du Transhumanisme

### 1. Mouvement Transhumaniste

Le Transhumanisme est un mouvement interdisciplinaire philosophique et scientifique qui vise à surmonter les limites biologiques par les progrès technologiques.

Le *Transhumanist FAQ(1)* est un texte fondateur du mouvement qui a été actualisé en 2003. Cet ouvrage de 54 pages définit le mouvement Transhumaniste, sa politique, sa philosophie et ses technologies.

Le Transhumanisme est une façon de penser l'avenir qui repose sur le principe selon lequel l'espèce humaine dans sa forme actuelle ne représente pas la fin de notre évolution mais plutôt une phase relativement jeune de développement(1).

Il cherche à prolonger la durée de vie en bonne santé des individus tout en augmentant leurs capacités intellectuelles, physiques et émotionnelles(1).

En effet, tout comme nous utilisons des moyens rationnels pour améliorer la condition humaine et le monde extérieur, nous pourrions également utiliser de tels moyens pour nous améliorer(1). Selon eux, grâce au rythme accéléré du développement technologique et de la compréhension scientifique, nous entrons dans une nouvelle étape dans l'histoire de l'espèce humaine. Dans un avenir relativement proche, nous pourrions faire face à la perspective d'une véritable intelligence artificielle, de nouveaux types d'outils cognitifs seront alors construits combinant l'intelligence artificielle et la technologie d'interface. La nanotechnologie moléculaire aura, selon les Transhumanistes, le potentiel de fabriquer des ressources abondantes pour chacun et de nous donner le contrôle des processus biochimiques dans notre corps, ce qui permettra d'éliminer les maladies et le vieillissement indésirable(1).

---

### 2. Le projet Transhumaniste

Le projet Transhumaniste repose sur le développement des connaissances dans le domaine des biotechnologies, des nanotechnologies, de l'intelligence artificielle et des interactions humain-machine, qui pourront permettre, entre autre, l'accès à uploading (téléchargement d'une personnalité issu d'un humain dans un programme informatique) (2).

Le Transhumanisme est également à l'origine d'une réactualisation des questionnements sur la suspension cryonique(2).

L'ultime rêve Transhumaniste est de faire accéder l'humanité à la sénescence négligeable, c'est-à-dire de stopper le processus de vieillissement, ce que certains considèrent comme l'immortalité réelle.

Les Transhumanistes oublient parfois d'aborder la question des sacrifices nécessaires à l'obtention de ce « rêve ». Ces sacrifices vont du remplacement d'organes malades par clonage thérapeutique ou transformation en être cyborg, à la négation du substrat organique par le supposé téléchargement de personnalité dans des ordinateurs superpuissants.

---

### 3. Définition du Transhumanisme

Dans sa participation "*Transhumain oui Posthumain Non* », en 2014, à la *Revue du Cube*<sup>2</sup>, Laurent Alexandre, Médecin et président de *DNAvision*<sup>3</sup> et auteur de *La Mort de la Mort : comment la technomédecine va bouleverser l'humanité*, définissait le Transhumaniste comme un groupe qui milite pour une « *démocratie radicale et pour un accès universel au progrès. Un citoyen est un individu autonome, qui n'appartient à personne d'autre qu'à lui-même, et qui décide seul des modifications qu'il souhaite apporter à son cerveau, à son ADN (acide désoxyribonucléique) ou à son corps.*

*Ils trouvent normal d'utiliser la technologie pour augmenter les capacités physiques et mentales. Ils considèrent que la maladie et le vieillissement ne sont pas une fatalité et qu'il est légitime de prétendre à une vie plus longue, plus agréable, sans souffrance ni handicap ».*(3)

La World Transhumanisme Association, rassemble depuis les origines du mouvement de nombreux penseurs et chercheurs et est à l'origine de la Déclaration du Transhumanisme qui fixe en sept alinéas les « orientations » du mouvement. (*Annexe 1 : Déclaration Transhumaniste*).

Selon eux, l'avenir de l'humanité sera radicalement transformé par la technologie(4). Ils envisagent et souhaitent la possibilité que l'être humain puisse subir des modifications telles que l'expansion de sa longévité, l'accroissement de son intelligence par des moyens biologiques ou artificiels, ou la modulation son propre état psychologique(4). Ils prônent le droit de ceux qui le désirent à se servir de la technologie pour accroître leurs capacités physiques et

---

<sup>2</sup> Premier centre dédié à la création numérique en France créée en 2001, membre du pôle de compétitivité Cap Digital et SystématiAC Paris-Région

<sup>3</sup> Une des principales sociétés européennes de génomique et de séquençage de nouvelle génération fondée en 2004

mentales(4). Le transhumanisme prône le bien-être de tout ce qui éprouve des sentiments, qu'ils proviennent d'un cerveau humain, d'un être artificiel, d'un *posthumain* (Humain technologiquement modifié) ou d'un animal(4).

Dans la commission de Bioéthique intitulée « *Le transhumanisme un progrès pour l'Humanité ?* », la fédération internationale Maçonnique « *le Droit Humain* » définissait en 2005 le Transhumanisme comme *un mouvement culturel et intellectuel international prônant l'usage des sciences et des techniques, afin d'améliorer les caractéristiques physiques et mentales des êtres humains. Au regard de cette définition, toute innovation scientifique ou technologique peut et doit être utilisée pour améliorer la condition humaine, en évitant handicap, souffrances, maladies, vieillissement et mort, qui sont vécus comme indésirables. Ce qu'on pourrait appeler la synergie NBIC (Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique, Sciences Cognitives) concourant à une accélération spectaculaire dans le domaine de la recherche sur le transhumanisme, en convergence avec d'hypothétiques sciences futures (réalité simulée, téléchargement de l'esprit et cryonie).*

*Selon le Droit Humain, le discours «Transhumaniste», annonçant le «posthumanisme», prône une rupture qui fera advenir une nouvelle espèce. Ainsi, grâce à l'intelligence artificielle, -non biologique-, adviendra la singularité, qui rendra l'humanité, telle que nous la connaissons, obsolète.*

Le rapport récemment publié par le Comité Consultatif National d'Éthique (CCNE) « *Recours aux techniques biomédicales en vue de "neuro-amélioration" chez la personne non malade* », pointe lui aussi « *les problèmes éthiques liés à l'utilisation de techniques biomédicales capables de modifier les activités cérébrales en vue de neuro-amélioration*»(5).

---

#### 4. Posthumanisme

Ce mot désigne des êtres du « futur possible » dont les capacités dépasseraient radicalement celles des humains actuels pour ne plus être « humainement humain » selon nos normes actuelles.

Les posthumains peuvent être des intelligences artificielles entièrement synthétiques, des *uploads*<sup>4</sup>, ou le résultat de l'accumulation d'augmentations d'humain biologique.

---

<sup>4</sup> Téléchargement de conscience humaine

Cette alternative nécessiterait la refonte de l'organisme humain en utilisant les nanotechnologies avancées ou son amélioration radicale en utilisant une combinaison de technologies telles que le génie génétique, la psychopharmacologie, les traitements anti-âge, les interfaces neuronales et les techniques cognitives(1). Les Posthumains peuvent avoir des expériences et des préoccupations que nous ne pouvons pas imaginer(1). Ils peuvent trouver avantageux de se débarrasser de leur corps et de vivre comme modèles d'information sur de vastes réseaux informatiques super-rapides. Leur esprit pourrait être non seulement plus puissant que le nôtre, mais également employer différentes architectures cognitives ou inclure de nouvelles modalités sensorielles permettant une plus grande participation à leurs paramètres de réalité virtuelle(1).

---

## 5. Histoire du transhumanisme

Dans sa thèse de sociologie intitulée : « *Culture du corps et technosciences : vers une « mise à niveau » technique de l'humain ? Analyse des représentations du corps soutenu par le mouvement Transhumaniste* »(2), le Docteur Michelle Robitaille revient de manière très documentée sur l'histoire et les membres du mouvement Transhumaniste.

« Le mot « Transhumanisme » est apparu pour la toute première fois en 1927 dans le livre *Religion without Revelation* du biologiste Julian Huxley, frère de l'écrivain Aldous Huxley.

*Le mouvement Transhumaniste a été instauré en 1991 par Max More Ph D, Docteur en Philosophie lors de la fondation de l'association Extropy Institute. Une organisation qui permettait de rassembler différents groupes aux idées futuristes. [...]*

*En 1998, les philosophes Nick Bostrom et David Pearce ont fondé la World Transhumanist Association (WTA) aujourd'hui devenue l'Association Humanity+, dont le but était de fournir un espace de discussion à divers groupuscules Transhumanistes. À l'heure actuelle, la WTA est la plus importante association Transhumaniste au monde, comptant plus de 4.600 membres répartis dans une centaine de pays. Les textes fondateurs de l'organisation sont The Transhumanist Declaration (2002) (Annexe N°1) et The Transhumanist FAQ(1)[...].*

*Elle regroupe des chercheurs issus de domaines variés, allant des nanotechnologies à la philosophie, en passant par la biologie moléculaire, la robotique et les sciences sociales. Les préceptes Transhumanistes sont propagés aux quatre coins du monde par l'entremise du périodique à comité de lecture *Journal of Evolution and Technology*, d'ouvrages de vulgarisation, du colloque annuel Transvision de leur site Internet ainsi que de groupes de discussion organisés par des associations locales affiliées à la WTA.*

---

## 6. Converging Technologies for Improving Human Performance

*Converging Technologies for Improving Human Performance*, est un document édité en 2002 par le *National Science Foundation*<sup>5</sup> (NSF) sur lequel ont collaboré plus de 60 scientifiques. Il vise explicitement l'augmentation des capacités du corps humain par l'utilisation des technologies NBIC.

En substance, il est décrit sur plus de 400 pages comment la convergence des NBIC pourrait considérablement améliorer les capacités humaines, les problématiques sociétales, la productivité et la qualité de vie des humains.

Les retombées attendues seraient l'amélioration de l'efficacité du travail et d'apprentissage, des capacités sensorielles et cognitives des individus, mais aussi des changements révolutionnaires dans les soins et la santé, et l'amélioration des techniques de communication hautement efficaces, y compris l'interaction cerveau-cerveau.

### 6.1 Développer la cognition et la communication humaines.

La plus haute priorité a été donnée au «*Human Cognition Project*», un effort multidisciplinaire pour comprendre la structure, les fonctions et l'amélioration potentielle de l'esprit humain.

Les autres domaines prioritaires sont les interfaces sensorielles personnelles.

### 6.2 Améliorer la santé humaine et les capacités physiques.

- Les nanopuces pour la recherche et traitements de pathologies génétiques et protéomiques ;
- Les implants à base de nanotechnologie et les biosystèmes régénératifs pour remplacer des organes humains ou pour la surveillance des paramètres physiologiques ;
- Des machines à l'échelle nanométrique et des outils comparables pour effectuer des intervention médicales/chirurgicales ;
- Des Plates-formes pour accroître les capacités sensorielles (en particulier pour les personnes ayant une déficience visuelle et auditive) pour permettre l'interface cerveau-

---

<sup>5</sup> Organisation gouvernementale, équivalent Étasunien du CNRS, en charge du financement de la recherche fondamentale par le biais de subventions accordées à des universités et des centres de recherche.

cerveau et cerveau-machine et ainsi permettre la navigation sur des environnements virtuels.

Au-delà de 20 années, la convergence peut avoir des impacts importants dans des domaines tels que l'efficacité du travail, le corps humain et l'esprit, la communication, et à terme la transformation de la civilisation

Selon ces scientifiques, une vaste opportunité est créée par la convergence des sciences et des technologies grâce à l'intégration de l'échelle nanométrique, ayant d'immenses implications individuelles, sociétales et historiques pour le développement humain.

Les participants aux réunions qui ont préparé ce rapport recommandent un effort national pour la recherche et le développement des technologies convergentes axées sur l'amélioration de la performance humaine.

Toujours d'après ce rapport, la science et la technologie domineront de plus en plus le monde, à mesure que la population, l'exploitation des ressources et les conflits sociaux potentiels grandiront. Par conséquent, le succès des technologies convergentes serait essentiel à l'avenir de l'humanité.

*« A l'instant de la Singularité, la vie humaine sera irréversiblement transformée, nous transcenderons les limitations de nos corps et de nos cerveaux. L'intelligence qui émergera alors continuera de représenter la conscience humaine. Ainsi, les machines elles-mêmes deviendront humaines ».*

**Ray Kurzweil**

*« Pape Transhumaniste »*

*Directeur de l'ingénierie du groupe Google*

**Deuxième Partie :**  
**Transhumanisme des Multinationales**

## Transhumanisme des multinationales et Universitaires : l'exemple d'Alphabet

Le projet d'utiliser l'alliance entre la Médecine et les sciences fondamentales pour réaliser la transition du paradigme de la Médecine du soin à celle de l'*enhancing*<sup>6</sup> est aujourd'hui piloté par de grands « penseurs » qui sont à la tête de grandes multinationales du monde du numérique, de l'informatique et de la domotique.

Ces recherches sont réalisées à la vue de tous, au plus près de la Médecine Universitaire et Hospitalière qui comme nous allons le voir bordent la *silicon valley*.

Nous allons utiliser en exemple la société *Alphabet Inc*, société ouvertement Transhumaniste qui est également la deuxième capitalisation boursière au monde

### 6.3 Composition d'Alphabet

En 2015 les fondateurs historiques de **Google**<sup>7</sup> souhaitent réorganiser le groupe en créant *Alphabet Inc.*, une entreprise américaine basée en Californie, conglomérat de sociétés précédemment détenues par la société Google.

Image expurgée

Le groupe est composé de :

- *Google Inc* (Google, Nexus, YouTube Gmail, Chrome, Google+),
- *Nest Labs* (filiale domotique du groupe)
- *Calico* (société de biotechnologie),
- *Google Fiber* (projet de construction d'un réseau filaire utilisant la fibre optique)
- *Google X* (laboratoire de recherche sur des paris risqués traitant par exemple de l'intelligence artificielle)
- *Google Car*, (recherche sur l'intelligence artificiel avec notamment AlphaGo)
- *Google Capital* (société de capitaux)
- *Google Ventures* (fonds de placement destinés à investir dans les startups)
- *Google Verily* (anciennement Google Life Sciences, société de biotechnologie)

*Illustration 1 : organigramme d'alphabet*

---

<sup>6</sup> Amélioration

<sup>7</sup> *Larry Page et Sergueï Brin*

- *Sidewalk Labs* (Société de modélisation d'urbanisation du futur)
- *Jigsaw* (anciennement Google Ideas, un *think tank* devenant un incubateur de technologie destiné à lutter contre la violence et la corruption, le terrorisme, les attaques numériques).

## 6.4 Capitalisation boursière

### Image expurgée

En 2016, pour la première fois, dans le classement annuel *PwC*<sup>8</sup> des plus grosses capitalisations boursières du monde, le secteur des technologies dépasse celui de la finance avec en tête *Apple*, suivi par *Alphabet Inc*, et *Microsoft* qui trustent les trois premières places, et enfin *Facebook* en 6e position(6).

*Illustration 2* En bleu, le secteur de la tech. En orange, la finance. En Marron, le pétrole. En vert, la pharmacie. En gris, les télécoms

*Alphabet Inc* est l'entreprise du top 100 qui a connu la plus forte croissance en valeur absolue entre 2015 et 2016 (+143 milliards de dollars), passant de 375 milliards à 518 milliards de dollars au 31 mars 2016(6).

L'écart de capitalisation boursière entre les deux géants américains n'a jamais été aussi faible, 86 milliards de dollars en 2016, contre 350 milliards de dollars l'année précédente(6).

Ce secteur ouvertement Transhumaniste a aujourd'hui acquis une puissance économique et lobbyiste telle qu'il peut mener ses propres politiques de recherche et de développement, notamment dans le domaine de la santé.

<sup>8</sup> *PricewaterhouseCoopers* : réseau d'entreprises américaines spécialisées dans des missions d'audit

## 6.5 Calico : California Life Company

Calico<sup>9</sup> est dirigé par *Arthur Levinson*, biologiste, également membre du conseil d'administration d'Apple et du laboratoire pharmaceutique *Hoffmann-La Roche corporation*<sup>10</sup>.

*Arthur Levinson* est aussi le dirigeant de l'entreprise américaine de biotechnologie *Genentech* qui est connue pour avoir commercialisé un grand nombre d'anticorps monoclonaux et de chimiothérapies.

Par *Calico*, *Alphabet Inc* a établi des partenariats avec les universités de la *silicon valley* afin de développer des biotechnologie actives contre les processus de vieillissement(7).

- *Calico* est en partenariat avec *l'University of Texas Southwestern Medical School*, le *Broad Institute* du *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* et de *Harvard* destiné au développement de la recherche sur les maladies et thérapeutiques liées à l'âge.
- *Calico*, a conclu un partenariat avec *Ancestry.com*, une entreprise spécialisée dans la constitution d'arbres généalogiques. Les données qu'elle a accumulées depuis plusieurs années intéressent fortement Google notamment dans le traitement des problématiques de la génétique de l'espérance de vie.
- *Calico* est à l'origine du composé *P7C3(1-anilino-3-(3,6-dibromocarbazol-9-yl)propan-2-ol)* impliqué dans l'amélioration de l'activité de l'enzyme de nicotinamide *phosphoribosyltransférase*, qui joue un rôle dans la biosynthèse de *nicotinamide-adénine-dinucléotide* utile à la lutte contre les pathologies neurovégétatives chez les modèles animaux(8).
- *Calico* est entré en collaboration avec *l'University of California San Francisco (UCSF)* dans la recherche portant sur la modulation du *Integrated Stress Response (ISR)*, une voie biochimique en cascade activée en réponse au stress : l'ambition est de lutter contre le déclin cognitif lié à l'âge.

---

<sup>9</sup> Filiale d'Alphabet Inc

<sup>10</sup> *Hoffmann-La Roche* ou simplement *La roche* est la quatrième (selon le classement d'IMS Health 2016) entreprise pharmaceutique du monde, basée en suisse, elle regroupe les sociétés : *Genentech*, *Anadys Pharmaceutical*, *Genia* (spécialisé dans le séquençage d'ADN), *Seragon* (biotechnologie) *Santaris* (Biotechnologie) *InterMune*, *Ariosa Diagnostics* (diagnostics prénataux de pathologies génétiques), *Foundation Medicine Inc*, (Diagnostic génétique) *Trophos* (recherche sur les maladies neuromusculaires), et *GeneWeave BioSciences* (spécialisée dans la détection de résistance aux antibiotiques).

## 6.6 X : Google X Lab

*Google X Lab* est le laboratoire de *Google* de recherches innovantes et risquées dans le domaine de la robotique et de l'intelligence artificielle. Notamment, la lentille connectée pour les diabétiques, et développée en collaboration avec le groupe pharmaceutique suisse *Novartis*, actuellement est en pourparlers pour une mise sur le marché(9). Munies de microprocesseurs miniaturisés et connectés, cette lentille mesure la présence de glucose dans le liquide lacrymal et transmet les données à un récepteur mobile

Le *Google X Lab* est le *Lift Labs* a également développé une fourchette qui détecte les tremblements et les compense pour permettre à des malade atteints de Parkinson de pouvoir manger(10).

## 6.7 Verily Life Sciences

Anciennement division de *Google X*, elle devient une filiale indépendante d'*Alphabet Inc* en août 2015.

L'équipe de recherche comprend des experts en biotechnologie avec notamment :

- *Andrew Conrad*, fondateur de l'*Institut national de génétique de LabCorp* (une société d'analyse biomédicale) ;
- *Vik Bajaj*, un expert en résonance magnétique nucléaire ;
- *Marija Pavlovic*, qui étudie l'effet du rayonnement sur l'ADN ;
- Le *Dr. Thomas R*, qui a démissionné de son poste de directeur du *National Institute of Mental Health (NIMH)* pour rejoindre le projet.

Comme *Calico*, *Verily* développe des partenariats avec les universités de la Silicon Valley afin de promouvoir des recherches du spectre Transhumaniste.

- *Verily* développe le programme *GATK(Genome Analysis ToolKit)* conçu pour faciliter le développement d'outils d'analyse efficaces et robustes pour séquenceurs d'ADN de nouvelle génération, utilisant le concept de programmation fonctionnelle de *MapReduce* développé par le *Broad Institute(11)* en partenariat avec le *MIT* et l'*Université d'Harvard*. Le *MapReduce* est un modèle de programmation informatique de référence développé par *Google* pour le traitement et la généralisation de grands ensembles de données pouvant être soumis à une grande variété de combinaisons(12). Plus de 10.000 programmes *MapReduce* distincts ont été installés à *Google*, et une moyenne de 100.000 emplois *MapReduce* sont exécutés quotidiennement sur les clusters (grappe de

serveurs sur un réseau) de Google, ce qui représente un total de plus de Vingt petabytes de données par jour(12). Avec *Verily* et ses partenaires Universitaires, *Alphabet* souhaite généraliser ce concept d'architecture aux programmes de diagnostics moléculaires, l'objectif est de développer et commercialiser des systèmes fiables et peu coûteux de diagnostic moléculaire.

- En août 2016, *Verily* et *GlaxoSmithKline*<sup>11</sup> crée une co-entreprise nommée *Galvani Bioelectronics* dédiée au développement et à la commercialisation des premiers médicaments bio-électroniques. Le concept repose sur des influx nerveux déchargés par des micro-appareils (nanobots) pour pallier les irrégularités du fonctionnement nerveux causées par certaines maladies chroniques.
- En septembre 2016, *Verily* et *Sanofi*<sup>12</sup> annoncent la création d'une co-entreprise, *Onduo*, pour concevoir et développer de nouveaux objets connectés dans le domaine du diabète.
- L'X et *Verily* sont en phase préliminaire du processus de création de nanoparticules magnétiques qui pourront détecter des cancers in vivo(13).
- Enfin *Verily* travaille également sur le projet *Baseline Study*, visant à collecter l'information génétique et moléculaire sur un échantillon de personnes suffisamment important afin de créer une cartographie représentative d'un humain en état de santé optimal.

## 6.8 DeepMind

Cette entreprise Britannique spécialisée dans l'intelligence artificielle et dans l'écriture d'algorithmes d'apprentissage généralisé a été rachetée 628 millions de dollars US par Google 4 ans après sa création.

L'entreprise s'est rendue célèbre avec *AlphaGo*, un programme capable de jouer au *Go*. Ce jeu est considéré comme l'un des plus difficiles à appréhender pour une intelligence artificielle en raison de la multiplicité des positions et des placements possibles des pions(14).

La victoire en mars 2016 (4 victoires, 1 défaite) lors d'un duel contre l'humain, le champion Sud-Coréen, *Lee Sedol* est à l'origine de la popularité de la société.

---

<sup>11</sup> GSK : Multinationale britannique, numéro huit mondial de l'industrie pharmaceutique selon le classement d'IMS Health 2016

<sup>12</sup> Entreprise pharmaceutique Française numéro trois mondial selon le classement d'IMS Health 2016

Pour parvenir à ces victoires, DeepMind a produit des réseaux capables d'apprendre en stockant des souvenirs et en les réutilisant pour effectuer des tâches logiques qu'il ne saurait faire autrement.

Ce procédé a été baptisé « *Neural Turing Machine* » c'est à dire un système qui apprend comme un réseau neuronal classique en utilisant les entrées qu'il reçoit du monde extérieur mais qui apprend aussi à stocker ces informations et à les récupérer.

Le logiciel apprend en effectuant des actions et en observant leurs effets et conséquences. Une partie du processus d'apprentissage consiste à analyser les expériences passées à plusieurs reprises pour tenter d'extraire des informations plus précises pour agir plus efficacement à l'avenir. Ce mécanisme est très proche de ceux qui ont lieu dans le cerveau humain.

Ce procédé basé sur l'apprentissage par l'expérience, imbriqué dans un système de neurones complexe classique de deeplearning est appelé *Deep reinforcement learning*.

La capacité à créer un système qui apprend, développé par *Deepmind* a ensuite été utilisé par *Alphabet* en février 2016 lorsque les données médicales anonymisées, les parcours de soins, et les résultats d'examens de plus de 1,6 million de patients *du Royal Free NHS Trust* (un regroupement de 3 hôpitaux Publics et Universitaires Londonien) ont été analysés par *DeepMind* pour le projet *Patient Rescue*.

L'objectif est d'utiliser les capacités de leur algorithme pour produire un programme d'aide au diagnostic médical.

*DeepMind* a conclu un accord avec le département de radiothérapie du *Centre Hospitalier universitaire de Londres* afin d'optimiser la prise en charge des tumeurs de la tête et du cou. La région céphalique concentre un grand nombre de structures nobles où la iatrogénie de la radiothérapie est un problème concret en pratique clinique.

Par ailleurs, *DeepMind* projette de développer un algorithme qui réduirait la durée des calculs et la iatrogénie des radiothérapies.

## **6.9 23andMe**

*23andme* est une filiale biotechnologie fondée par Google en 2006 par *Anne Wojcicki*.

Elle propose un service de séquençage à ses clients pour la somme de 199 dollars US. Les tests sont envoyés par colis postaux et sont effectués sur échantillons salivaires. Les résultats sont obtenus en ligne après 3 semaines d'attente.

23andMe n'utilise pas la technique du séquençage complet de l'ADN, mais celle beaucoup moins coûteuse et plus rapide du génotypage par la technologie *HumanOmniExpress-24* d'Illumina<sup>13</sup>.

### Image expurgée

Illustration 3 Profil génétique généalogique d'après 23andme

Cette technique permet uniquement d'identifier, grâce à des biopuces, les variations individuelles de notre ADN : les *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP).

Elle étudie des loci spécifiques de l'ADN, amplifiés par PCR (Réaction en Chaîne de la Polymérase), pour identifier des variations génomiques. Ce qui signifie que seul l'ADN codant est analysé soit 1 à 25 % du génome humain, selon l'inclusion ou non des introns et des séquences régulatrices.

23andMe étudie entre autres les "*ancestry composition*"<sup>14</sup>, le pourcentage d'ADN néandertalien dans l'ADN analysé. Un troisième volet, non disponible en France, mais disponible aux USA, Canada et Angleterre, fait suite à une décision de la *Food and Drug Administration* (FDA de mise sur le marché (AMM) le 19 février 2015 d'un test génétique qui permet la détection du port de l'allèle récessif d'un gène responsable du syndrome de Bloom(16). Ce volet permet selon 23andMe la recherche de facteurs de risque des pathologies génétiques, la réponse à certains traitements ainsi que des paramètres plus anecdotiques comme l'addiction au tabac ou le profil musculaire de l'individu testé (liste complète disponible dans l'*Annexe 2*).

Le but avoué de 23andme est d'obtenir le plus d'ADN différents pour mener ensuite des recherches médicales sur ce *Big Data* génétique. En Juin 2015, 23andMe avait déjà génotypé plus de 1 000 000 de personnes.

---

<sup>13</sup> Société numéro un mondial dans le séquençage génétique.

<sup>14</sup> déterminant l'haptogroup permettant de remonter les généalogies génétiques, et de déterminer les origines géographiques à travers une analyse de l'ADN(15)

**Troisième partie :**  
**Revue des avancées réelles ou supposées**  
**de champ du Transhumanisme**

# Nanotechnologie

Conformément à la définition d'Humanity+, anciennement World Transhumanisme Association, les nanotechnologies sont des technologies de fabrication visant à construire des structures tridimensionnelles complexes, et à la spécification atomique utilisant des réactions chimiques dirigées par des machines non biologiques(1).

Dans la fabrication moléculaire, chaque atome est lié avec d'autres atomes d'une manière précise. La nanotechnologie promet de nous donner un contrôle approfondi de la structure de la matière.

Une nanoparticule est définie par la norme ISO TS/27687 (*Organisation internationale de normalisation*) comme un nano-objet dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire une particule dont le diamètre nominal est inférieur à 100 nm environ(17).

Nous allons voir la révolution thérapeutique que représente la vectorisation, l'utilisation des nanoparticules en radiothérapie. Nous aborderons également les problématiques de la pollution des nano-éléments.

---

## 1. Nanoparticule et thérapeutique

### 1.1 Vectorisation

La vectorisation est l'encapsulation de médicaments ou molécules thérapeutiques dans des vecteurs comme les liposomes ou micelles, afin de permettre leur libération in situ aux cellules malades.

Elle repose sur l'utilisation de nanomédicaments afin de modifier la distribution des substances actives dans l'organisme(18). L'objectif est de concentrer la molécule active sur ses sites d'actions pharmacologiques et de l'éloigner des sites sur lesquels elle pourrait avoir des effets non secondaires. Les objets thérapeutiques utilisés en nanomédecine ont une taille de l'ordre de 200 nanomètres.

Le rapport *Nano sciences et médecine*(19) de l'*Académie Nationale de Médecine* distingue trois générations successives de nanoparticules.

Les nano-objets dont la surface n'a pas été modifiée ce sont :

- Soit des assemblages de monomères (liposomes, micelles, nano-émulsions) ;
- Soit des polymères de molécules primaires (nanoparticules polymères telles que polyalkylcyanoacrylates) ;

- Soit le résultat de réaction de co-précipitation (*USPIO - Ultrasmall SuperParamagnetic Iron Oxide*).

La deuxième génération correspond aux nano-objets « furtifs » recouverts de PolyEthylèneGlycol (particules PEGylées) qui prolongent la demi-vie du produit dans le sang.

La troisième génération de vecteurs comprend, en plus du PEG, une molécule de ciblage pouvant être le ligand d'un récepteur, ou un anticorps dirigé contre une protéine surexprimée dans les tissus visés. Par exemple, des anticorps anti-récepteurs de la transferrine permettent de faire traverser la barrière hématoencéphalique à des liposomes pour qu'ils délivrent leur contenu.

Les composés vectorisés par les nano-objets sont généralement des médicaments, mais aussi des oligonucléotides et des siRNAs (small interfering RNA).

La pharmacie galénique moderne développe des systèmes d'administration colloïdaux susceptibles de promouvoir le passage transmembranaire et/ou intracellulaire tout en protégeant le principe actif de la dégradation enzymatique.

La technique Transdrug utilise des nanoparticules pour réaliser un ciblage intracellulaire grâce à la pénétration intracellulaire des principes actifs qui optimise son efficacité, notamment en cas de multirésistance.

Par exemple, la cardiotoxicité des anticancéreux encapsulés tels que la Doxorubicine ou de la Daunorubicine est fortement diminuée lorsqu'elle est transportée par des nanoparticules biodégradables de polyalkylcyanoacrylate. Ce procédé est utilisé pour le traitement du sarcome de Kaposi, des cancers ovariens, des lymphomes non hodgkiniens, et le mélanome.

Un autre exemple est l'utilisation de la Vertéporfine pour le traitement de la dégénérescence maculaire. Ce photosensibilisateur est inséré dans des liposomes qui vont se lier aux récepteurs LDL (Low Density Proteins) cholestérols situés sur la membrane endothéliale des néovaisseaux, puis une diode laser permet la destruction des néovaisseaux par photo-illumination.

**Image expurgée**

*Illustration 4 : Principe actif encapsulé dans une bicouche lipidique*

Une autre voie de recherche est le ciblage d'un récepteur exprimé uniquement dans un contexte pathologique, comme dans l'inflammation, le phénotype cellulaire cancéreux ou la neurodégénérescence par une nano-particule. L'intérêt est de moduler le ciblage du traitement spécifiquement sur le tissu pathologique en tenant compte de l'évolution.

## 1.2 Nanoparticule et Radiothérapie

En 2013 la société Française *Nanobiotix* a publié les premiers résultats d'un essai clinique qui ouvrait une nouvelle voie dans le traitement des cancers avec l'amplificateur de radiothérapie *NBTXR3*.

Des nanoparticules sont injectées dans le tissu tumoral de la tête et du cou, du foie, du rectum de la prostate et du sarcome et sont absorbées par les cellules pathologiques.

D'une taille d'environ 50 nanomètres de diamètre, elles absorbent davantage les rayonnements toxiques ce qui peut multiplier jusqu'à neuf fois l'effet de la radiothérapie sans augmentation des effets nocifs sur le tissu sain(20).

Une demande d'AMM est en a été déposé en septembre 2016.

*Nanobiotix* présentait lors du 31<sup>ème</sup> congrès annuel de *la Society for Immunotherapy of Cancer* (SITC), les données issues du programme préclinique en cours en immuno- oncologie montrent que *NBTXR3* peut stimuler activement le système immunitaire afin d'attaquer les cellules tumorales. *NBTXR3* combiné à la radiothérapie déclenche, dans différentes lignées cellulaires cancéreuses, une augmentation importante de la mort cellulaire immunogénique (Immunogenic Cell Death - ICD) comparée à la radiothérapie seule, au sein de modèles radio-résistants et radiosensibles. La radiothérapie est souvent délivrée au début du traitement du cancer, alors que la majorité des développements actuels en immuno-oncologie s'insèrent dans des étapes ultérieures du traitement. Une approche réussie en immuno-oncologie avec *NBTXR3* permettrait selon *Nanobiotix*, de changer la donne en offrant de nouvelles options de traitement dès les premières phases de la maladie.

---

## 2. Respirocytes (hypothétique)

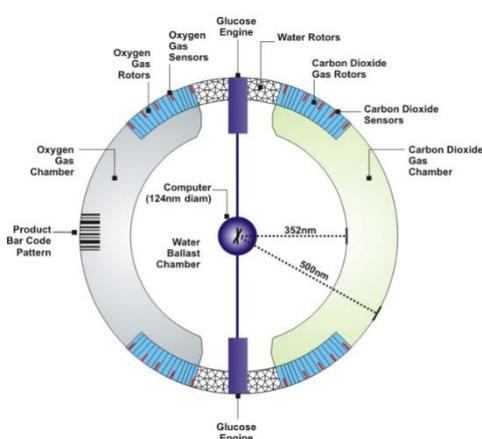


Illustration 5 Architecture du respirocyte

Robert Freitas, chercheur à l'*Institute for Molecular Manufacturing* et auteur du document « *A Mechanical Artificial Red Blood Cell: Exploratory Design in Medical Nanotechnology* »(21) est à l'origine des recherches sur les Respirocytes, hématies artificielles qui pourraient mimer la fonction de son équivalent organique, avec une efficacité possiblement supérieure (jusqu'à 236 fois)(22).

Ce sont des nanoparticules sphériques qui mesureraient 1 micromètre de diamètre, composées de

18 milliards d'atomes capables d'assurer le transfert oxygène/dioxyde de carbone entre les alvéoles pulmonaires et le transfert inverse dans les tissus vascularisés.

Si les hématies d'un homme adulte avaient été entièrement remplacées par ce dispositif, le patient pourrait survivre à un infarctus du myocarde voire à un arrêt cardiaque pendant des heures et se rendre à un hôpital sur ses deux pieds(23). Il pourrait aussi retenir sa respiration sous l'eau pendant des heures, évitant par le fait les accidents de décompression ou les problèmes de narcose azotée.

---

## 3. Nanomatrice d'intelligence artificiel de dépistage

En Décembre 2016 était publiée, dans la revue *ACS Nano*, une étude en collaboration avec entre autre le Nanotechnology Institute, Technion, l'Université de Paris-Sud et Paris-Saclay, l'AP-HP, le Centre National de Référence de l'Hypertension Pulmonaire Sévère, le Département Hospitalo-Universitaire Thorax Innovation, le Service de Pneumologie de l'Hôpital de Bicêtre, l'INSERM, le Laboratoire d'Excellence (LabEx) en Recherche sur le Médicament et l'Innovation Thérapeutique (LERMIT), le Department of Radiation Oncology, Baptist Cancer Institute (BCI), Jacksonville, Florida, l'Oncologic Imaging Division, Florida Radiation Oncology Group.

Dans cette étude, une nanomatrice(24) d'intelligence artificielle basée sur des couches chimio-résistives de nanoparticules d'or moléculairement modifiées et un réseau aléatoire de nanotubes de carbone à paroi unique forment un ensemble de nanocapteur ont été utilisés. Ces derniers ont permis la réalisation d'une méta-analyse réalisée sur des échantillons d'haleine collectés de

manière contrôlée auprès de 1.404 sujets éligibles, entre janvier 2011 et juin 2014, dans 14 centres cliniques de 5 pays différents (Israël, France, Etats-Unis, Lettonie et Chine).

L'objectif était de recueillir les composés organiques volatiles exhalés (COV) par souffle expiré des individus. Il s'agit d'une méthode accessible, reproductible et non invasive.

Un recueil de COV à poids moléculaire relativement faible exprime des changements distincts et immédiats en corrélation des processus physiopathologiques qui se produisent et modifient le métabolisme du corps.

L'objectif était de déterminer des profils de COV selon certains états pathologiques dont l'insuffisance rénale chronique, la maladie de Parkinson, la sclérose en plaques, les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin, l'hypertension artérielle pulmonaire et certains cancers afin de développer à terme un procédé facile d'utilisation pour le dépistage de ces pathologies.

L'âge moyen des groupes de patients était de  $55 \pm 10$  ans ; 423 (52%) des patients étaient des hommes et 296 (36%) étaient des fumeurs actifs.

Des échantillons de souffle ont également été recueillis auprès de chacun des 591 sujets témoins enrôlés simultanément avec les patients à chaque site.

L'âge moyen de la population témoin était de  $52 \pm 8$  ans; 257 (43%) étaient des hommes et 134 (23%) étaient des fumeurs actifs.

Un premier résultat a montré que certains capteurs étaient plus sensibles aux différences entre les profils de COV des différentes populations de maladies : par exemple le capteur SF-43 s'est révélé hautement discriminatoire entre le cancer de la tête et du cou et d'autres maladies cancéreuses, alors que la discrimination entre la maladie inflammatoire de l'intestin et d'autres maladies (non cancéreuses) ne l'était pas.

13 différents COV communs à toutes les maladies examinées ont été identifiés dans cette étude et différaient significativement ( $p < 0,01$ ) en abondance parmi les groupes témoins et / ou les autres maladies. Ce sont *le 2-éthylhexanol, le 3-méthylhexane, le 5-éthyl-3-méthyl-octane, l'acétone, l'éthanol, l'acétate d'éthyle, l'éthylbenzène, l'isononane, l'isoprène, le nonanal, le styrène, le toluène et l'undécane.*

Bien que l'abondance de ces COV se chevauche parmi certains des états pathologiques, des différences significatives ont été clairement établies entre d'autres.

Par exemple, la concentration en *nonanal* était significativement plus faible dans la maladie de Crohn, le syndrome du côlon irritable et la pré-éclampsie que dans d'autres maladies.

Des observations similaires ont été observées pour chacun des 11 autres COV.

Ces 13 COV pourraient générer des milliers de combinaisons possibles dont chacune pourrait être précieuse dans la discrimination entre deux ou plusieurs des maladies.

Chaque maladie présente une composition COV remarquablement distincte des témoins et des autres états pathologiques.

A terme, il s'agirait d'un procédé facile à utiliser, peu coûteux et miniaturisé pouvant également être utilisé pour le dépistage, le diagnostic et le suivi personnalisé d'un certain nombre de maladies.

Dans l'ensemble, ces résultats pourraient contribuer à l'un des critères les plus importants pour une intervention de santé réussie de dépistage de pathologie grave dont le dépistage peut améliorer le pronostic.

## Biotechnologie

La biotechnologie est définie par l'*Organisation de Coopération et de Développement Économiques* (OCDE) comme « *L'application de la science et de la technologie à des organismes vivants<sup>15</sup>, de même qu'à ses composantes, produits et modélisations, pour modifier des matériaux vivants ou non-vivants aux fins de la production (industrielle) de connaissances, de biens<sup>16</sup> et de services<sup>17</sup>* ».

La production de biomédicaments est issue d'organismes vivants ou de leurs composants cellulaires afin de produire des protéines et autres molécules comme l'insuline humaine, les hormones de croissance, les facteurs anti-hémophiliques, les anticorps monoclonaux (biothérapie et Anti TNF alpha), les vecteurs de gènes et d'ARN (les thérapies géniques et les vecteurs viraux), de l'ADN/ARN (Génomique, pharmacogénomique, sondes géniques, génie génétique, détermination de séquences/synthèse/amplification de l'ADN/ARN).

Comme nous l'avons vu, l'industrie des biotechnologies est aujourd'hui totalement intriquée avec le monde numérique d'orientation Transhumaniste.

Nous allons revenir sur les exemples de biotechnologie qui pourrait être utilisées en *humain enchancing*<sup>18</sup> : l'endonucléase CRISPER/Cas9 et le chromosome JCVI représentent les deux avancées majeures en génomique. Puis nous parlerons de la révolution du séquençage génétique. Enfin, nous reviendrons sur les avancées des thérapies cellulaires sur la recherche des cellules-souches afin d'appuyer les questionnements sur le prolongement de l'espérance de vie.

---

### 1. Technologie de Modification du génome

La capacité de modifier durablement et simplement le génome humain est aujourd'hui à la portée de la médecine par l'utilisation notamment de l'enzyme CRISPER/Cas9. Ce type d'enzymes peut être utilisé pour remplacer un allèle muté pathologique mais également pour introduire des gènes nouveaux dans n'importe quel organisme végétal ou animal.

---

<sup>15</sup> *Micro-organismes, animaux, végétaux*

<sup>16</sup> *Médicaments, matières premières industrielles*

<sup>17</sup> *Amélioration de la production agricole (plantes et animaux transgéniques ou O.G.M.*

<sup>18</sup> *Amélioration humaine*

Le chromosome artificiel JCVI-sync1 pourrait être quant à lui substrat chromosomique pour implanter n'importe quelle fonction nouvelle dans les êtres vivants.

## 1.1 CRISPR/Cas9

*CRISPR/Cas9* (*CRISPR associated protein 9*) est une endonucléase qui a permis de rendre technologiquement et financièrement accessible aux laboratoires de génomique l'édition des patrimoines génétiques. Elle peut être utilisée pour modifier facilement et rapidement le génome des cellules animales et végétales.

CRISPR est un système naturel de défense immunitaire issu des bactéries *Streptococcus pyogenes* pour se défendre contre l'invasion des virus et des phages qui lui sont nocifs. La première publication scientifique ayant rapporté l'existence de CRISPR date de 1987.

En 2012 la française *Emmanuelle Charpentier* et l'américaine *Jennifer Doudna* ont démontrées que CRISPR peut être dirigée contre une séquence génomique cible prédéterminée en laboratoire(25).

Il s'agit d'un système composé de 3 éléments :

- L'enzyme Cas9, parfois surnommée ciseau moléculaire, qui coupe l'ADN.
- l'ARN agissant en *trans* (tracrRNA) qui va guider Cas9 vers une séquence génomique déterminée.
- L'ARN CRISPR (crRNA) qui est la base du guide à laquelle le tracrRNA se lie pour former un complexe avec Cas9.

Image expurgée

*Illustration 6 L'enzyme CRISPR/CAS9*

L'efficacité de CRISPR est aussi un avantage sans précédent, en effet à ce jour il n'existe aucun organisme vivant sur lequel CRISPR a été testé, et qui ait échoué(26).

L'ascension fulgurante de CRISPR s'est faite dans des domaines aussi variés que la création de modèles animaux des maladies humaines, les thérapies géniques, la production de produits biologiques, le développement de plantes résistantes aux parasites, la lutte contre la résistance aux antibiotiques, ou l'éradication de virus tropicaux mortels(26).

### 1.1.1 Modification du génome par CRISPER

CRISPR/Cas9 a été utilisé sur des embryons humains pour la première fois en 2015 par une équipe chinoise pour modifier génétiquement les protéines codantes pour les Beta-globuline d'hématies d'embryons humains porteurs initialement de Beta-Thalassémie(27). Ils sont parvenus à remplacer le gène muté par la version sauvage. Ces embryons n'ont pas été implantés pour des raisons d'éthique et de législation.

La technique d'édition CRISPR-Cas9a été utilisée en octobre 2016 par l'équipe du Dr *Lu You* de la *Sichuan University de Chengdu en Chine* sur des lymphocytes T prélevés chez un patient atteint d'un cancer du poumon métastasé(28). Le premier pas d'un essai clinique qui devrait inclure au total une dizaine de patients en situation d'échec thérapeutique.

CRISPER a également été utilisé pour rendre les femmes *Anioheles gambiae*, principal vecteur du paludisme. Ils ont identifié trois gènes qui confèrent un phénotype de stérilité féminine récessive lors de la rupture et insertion dans chaque locus par CRIPSER/Cas9 d'un transgène(29).

Il existe aujourd'hui un nombre extrêmement important de publications impliquant la modification d'organisme vivant complexe par CRISPER/cas9.

Notre travail ne peut être exhaustif puisque chaque jour de nouvelles publications relatives à CRISPER paraissent, comme celle publiée dans la revue *Nature* le 9 août 2017 portant sur la modification du gène MYBPC3 responsable de cardiomyopathie hypertrophique.

Ce type d'enzyme peut être utilisée pour remplacer un allèle muté pathologique mais également pour introduire des gènes nouveaux.

## 1.2 Chromosome artificiel

La production d'un chromosome artificiel pourra permettre deux avancées majeures dans la modification génomique.

Dans la recherche, la capacité pour les chercheurs de disposer d'un organisme avec le plus petit patrimoine génétique possible, à savoir le strict nécessaire pour permettre la vie leur permettant d'y insérer les gènes un à un et de les étudier

### 1.2.1 JCVI-syn1

JCVI-syn1.0 est un chromosome artificiel d'un million de bases chimiques entièrement produit en éprouvette en suivant une modélisation informatique. Il a été intégré dans une bactérie dont on avait auparavant supprimé l'ADN d'origine.

Il s'agit de la première production humaine de patrimoine génétique en grande quantité et *de novo*. Il existe aujourd'hui deux lignées d'espèces vivantes sur Terre : toutes celles qui descendent de LUCA (*Last Universal Common Ancestor*), et JCVI-syn1.0.

En 2010, l'institut de recherche génomique *J. Craig Venter (JCVI)* publiait dans *Science* la synthèse de la première cellule bactérienne procaryote autorépliquante synthétique.(30)

Dans le cadre du projet *Minimal Genome*, une équipe de JCVI a synthétisé une version entièrement modifiée du génome de la levure *Mycoplasma Mycoides* de 1,08 million de paires de bases et l'a implanté dans une cellule de *Mycoplasma capricolum* où l'ADN avait été retiré par une enzyme de restriction

Image expurgée

*Illustration 7 Synthèse du chromosome artificiel JCVI-syn1.0*

La cellule synthétique appelée *Mycoplasma mycoides*

*JCVI-syn1.0* est la preuve du principe que les génomes peuvent être conçus dans l'ordinateur, fabriqués chimiquement en laboratoire et transplantés dans une cellule receveuse pour produire une nouvelle cellule auto-répliquant contrôlée seulement par le Génome synthétique(30).

Leur nouvel objectif est de synthétiser une cellule minimale ne contenant que les gènes nécessaires (génome minimal) pour soutenir la vie dans sa forme la plus simple et ainsi mieux comprendre le fonctionnement des cellules. Elle pourrait être une plateforme pour analyser la fonction de chaque gène essentiel dans une cellule en intégrant un à un les gènes dans cette cellule minimal pour étudier leur fonction(30).

En 2016, l'*Institut Venter* a utilisé des gènes du JCVI-syn1.0 pour synthétiser un génome encore plus petit qu'ils appellent JCVI-syn3.0, qui contient 531.560 paires de bases et 473 gènes. Une comparaison de ces deux génomes a révélé un ensemble commun de 256 gènes que l'équipe pense être un ensemble minimal de gènes nécessaires à la viabilité.

### 1.2.2 *Ultimate Yeast Genome*

En mars 2014, un article sur le premier chromosome eucaryote artificiel qui comportait 80 signataires comme la *John Hopkins University à Baltimore*, la *New York University*, le CNRS, l'*Institut Pasteur* a été publié dans la revue *Science*(31).

Pour la première fois, les chercheurs sont parvenus à remplacer un des 16 chromosomes de la levure eucaryote *Saccharomyces cerevisiae* par un autre, de leur fabrication, mais tout aussi fonctionnel que l'original.

Le chromosome 3 de *S.Cerevisiae* a été simplifié et allégé en passant de 316 617 paires de bases dans la version sauvage à 272 871 dans la version de synthèse. L'objectif comme avec JCVI-syn étant de transformer cette cellule en une plateforme de recherche plus simple à modifier pour la compréhension des gènes.

L'équipe a donc procédé par étapes successives en exploitant la capacité qu'a la levure d'intégrer à son propre code génétique des fragments d'ADN étranger.

Des briques d'ADN de synthèse d'une longueur de 750 paires de bases ont été assemblées quatre par quatre de manière à former des fragments de plus grande taille(32).

Ces fragments ont été insérés dans le génome de la levure par paquets, étape par étape, afin qu'ils remplacent progressivement les séquences génétiques d'origine(32).

L'opération n'a pas modifié la capacité de survie et de reproduction de la levure baptisée « *SC2.0* » qui est le premier eucaryote au génome artificiel. Le chromosome artificiel ne représente que 2,5% du génome de la totalité de *S. Cerevisiae*(31).

---

## 2. Séquençage génétique

Un peu plus de 10 ans après le premier séquençage d'un génome humain, qui avait coûtait 3 milliards de dollars et avait duré 13 ans, des sociétés comme *Illumina*<sup>19</sup> ou comme *DNAvision*<sup>20</sup> sont en mesure de proposer une technologie de séquençage de nouvelle génération (NGS) utilise l'amplification et le séquençage par synthèse (SBS) pour permettre un séquençage rapide et précis de petites régions ciblées comme de l'ensemble du génome. Grâce à ces technologies de séquençage à haut fréquence un séquenceur *HiSeqX* de chez *Illumina* peut séquencer jusqu'à 18 000 génomes par an pour une somme inférieure à 1000 dollars/génome(33).

---

<sup>19</sup> Société américaine spécialisée dans le séquençage, génotypage et expression génétique, numéro un du marché des séquenceurs génétiques

<sup>20</sup> Une des principales sociétés européennes de génomique fournissant une large gamme de services génomiques aux industries pharmaceutique, alimentaire et biotechnologique.

La société britannique *Nanopore* développe un séquenceur d'ADN de poche USB devise par nanopores(34) : le MinION qui cout à l'achat environ 1000dollars (9,5 cm de long, 3,2 cm de large, 1,6 cm d'épaisseur pour 120 g).

Selon *Technology Review*(35), la revue du Massachusetts Institute of Technology, MiniION à un taux de reconnaissance des bases encore trop faible avec seulement 60 à 85% des reconnaissances des bases nucléotidique.

Cependant MiniION a été utilisé avec succès durant l'épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest pour séquencer et identifier le virus(36)

Force est de constater cette augmentation majeure des capacités des laboratoires à pouvoir séquencer à faible coût et rapidement le génome complet des patients, d'autant qu'il semble possible de miniaturiser les séquenceurs de manière fiable. Ces informations laissent envisager au séquençage rapide et pratique en activité clinique classique dans un futur. C'est d'ailleurs en anticipant ces nouvelles pratiques que les géants de la biologie ou de l'informatique se sont lancés dans la course à l'accumulation de *big data* génomique.

Dans son avis numéro 124 intitulé « *Réflexion éthique sur l'évolution des tests génétique liée au séquençage de l'ADN humain à très haut débit* » le Comité consultatif National d'Ethique pour les Sciences de la vie et de la santé revient sur une décennie de séquençage : « *Depuis la première séquence complète d'ADN humain en 2003, tant le coût de ce séquençage que le temps nécessaire pour l'obtenir ont été divisés par deux millions (...) le temps où le génome de chaque individu représentera un standard de son dossier médical, régulièrement réanalysé, n'est-il pas si loin* »(37).

## **2.1 Application commerciale du séquençage génétique : le diagnostic moléculaire**

Une des applications de ces séquençages rapides à bas prix est le développement aujourd'hui d'un panel de sociétés comme *Myriad Genetics*, spécialisée dans le diagnostic moléculaire. En 2016 elle avait commercialisé 12 produits de diagnostic génétique comme par exemple *myRisk Hereditary Cancer*, un test multi gènes qui identifie un risque élevé de cancer génétique comme le cancer du sein, du côlon, de l'ovaire, de l'endomètre, du pancréas, de la prostate et de l'estomac et du mélanome en cherchant les mutation des gène APC, ATM, BARD1, BMPR1A, BRCA1, BRCA2, BRIP1, CDH1, CDK4, CDKN2A (p16INK4a et p14ARF), CHEK2, MLH1, MSH2, MSH6, MUTYH, NBN, PALB2, PMS2, PTEN, RAD51C, RAD51D, SMAD4, STK11,

TP53. Ce genre de test est aujourd'hui disponible dans le commerce nord-américain pour une somme relativement modique, entre 150 et 300 dollars.

Le dépistage de prédispositions à des pathologies neurodégénératives et des néoplasies sans pour autant apporter une réponse curative peut laisser perplexe. Il inscrit cependant la médecine de demain dans un dialogue de l'individu sain en devenir d'être malade et dans une prise en charge a priori des pathologies.

## 2.2 Séquençage génétique et Oncologie

La cancérologie est probablement le domaine qui s'appuie actuellement le plus sur cette révolution génomique. En effet, les perspectives nouvelles du séquençage et de la collecte d'informations médicales de masse vont permettre une approche nouvelle et globale de la prise en charge des cancers comme nous allons le voir avec par exemple *l'international Cancer Genome Consortium* de Toronto ou le concept de traitement personnalisé.

### 2.2.1 *International Cancer Genome Consortium*

L'international Cancer Genome Consortium (ICGC) a été créé en 2008 pour coordonner les études de grandes échelles sur les génomes des 50 types de cancers d'importance majeure dans le monde.

Son objectif est l'étude génomique, épigénomique et transcriptomique de 25 000 génomes pour établir un répertoire des mutations oncogènes, afin de : (38)

- Découvrir l'influence des mutations ;
- Définir des sous-types cliniquement pertinents pour améliorer le pronostic et la prise en charge thérapeutique ;
- Permettre le développement de nouveaux traitements anticancéreux.

Le projet *ICGCmed* s'inscrit dans le contexte des efforts internationaux de séquençage massifs pour recouper l'ensemble des données génomique avec les informations cliniques, le mode de vie, l'histoire du patient, les données biologiques du diagnostic de cancer, et la réponse et la survie après les thérapeutiques du cancer pour développer des stratégies préventives, des marqueurs pour la détection précoce de la maladie, des critères plus spécifiques et des méthodes de diagnostic et de pronostic(38).

## 2.3 Traitement personnalisé.

La médecine personnalisée est une des voies les plus prometteuses en cancérologie. Par l'adaptation d'une thérapeutique au génome d'un patient pour améliorer l'efficacité et réduire

la iatrogénie. Le but de la médecine personnalisée est d'améliorer la performance des soins, d'éviter des traitements inutiles et d'améliorer la qualité de vie des patients.

Les techniques actuelles permettent de déterminer de façon de plus en plus précise les caractéristiques de chaque tumeur afin de préciser le diagnostic, d'identifier les anomalies en cause et de les traiter, lorsque cela est possible, avec une thérapie ciblée(39).

Le séquençage à haut débit permet de séquencer l'intégralité du génome des cellules cancéreuses afin de d'établir une carte d'identité de la tumeur et d'analyser les mécanismes moléculaires en cause(39).

L'Institut pour la recherche sur le cancer de Lille (IRCL) dispose d'une plateforme génomique et tient à jour un registre de caractérisation génomique des tumeurs et de l'efficacité des chimiothérapies utilisées pour adapter la personnalisation des traitements(39).

Ce programme est réalisé en parallèle du programme ICGC qui vise à séquencer le génome des tumeurs de plusieurs milliers de patients afin de comprendre, pour 50 cancers différents, le rôle des altérations génétiques dans leur développement.

- Un exemple de succès du séquençage génétique en oncologie est l'identification en 2009 par l'Institut Curie de deux profils génétiques distincts prédictifs des risques d'évolution tumorale du neuroblastome chez l'enfant(39). Les tumeurs présentant un gain ou une perte de chromosomes entiers sont le plus souvent localisées et de bon pronostic et en cas de rechute, celle-ci est locale. En revanche, celles qui présentent une perte ou un gain de certaines régions des chromosomes sont beaucoup plus agressives. L'intégration de ces nouvelles données génétiques au diagnostic conduit à une réduction des chimiothérapies chez les enfants ayant une tumeur facilement contrôlable et, dans le cas contraire, à une intensification des traitements(39).
- Un autre exemple sont les travaux de *l'Institut de cancérologie Gustave Roussy* (Villejuif) ont montré par exemple qu'une protéine, ERCC1, apparaissait comme un marqueur prédictif de la résistance au cisplatine dans les cancers bronchiques non à petites cellules. Les chercheurs essaient ainsi de trouver des profils biologiques prédictifs des réponses aux chimiothérapies pour différents types de cancers, sein, prostate, colon(40).
- L'exemple le plus souvent retenu de thérapies ciblées est celui de l'IMATINIB, utilisé pour le traitement des patients atteints de leucémie myéloïde chronique ou de leucémie aiguë lymphoblastique et dont les cellules tumorales sont porteuses d'une translocation BCR-ABL. Ce traitement a révolutionné le traitement de la leucémie myéloïde

chronique : 88 % des patients sont désormais en vie 6 ans après le diagnostic contre 20 % avant l'arrivée de cette molécule(41). Dans le traitement adjuvant du cancer du sein sur-exprimant la protéine HER2, la prescription du TRASTUZUMAB, réduit de 50 % le risque de récurrence.

- En 2011, 55.000 patients ont bénéficié d'un examen des caractéristiques moléculaires de leur tumeur afin qu'ils puissent bénéficier de thérapies ciblées(41). A ce jour, dix-sept thérapies ciblées peuvent être prescrites en France pour différents types de cancers tel que celui du sein, de l'estomac, du côlon, du poumon, les leucémies myéloïdes chroniques, les leucémies aiguës lymphoblastiques ou encore les tumeurs stromales gastro-intestinales. Les chercheurs estiment que 20 à 30 % des tumeurs solides présentent une anomalie qui permettra d'envisager un traitement avec une thérapie ciblée(41).

## 2.4 Séquençage et révolution Métagénomique

Cette révolution consiste au séquençage complet et systématique de l'ensemble du monde microscopique pour approfondir la connaissance de la biodiversité des écosystèmes microbiens du monde sous-marins, sous terrain et des intestins humains. Pour le numéro du 26 mai 2016 du journal du CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) la métagénomique est « une invention aussi importante que le microscope (42)»

En métagénomique, un fois extrait de l'échantillon prélevé, l'ADN présent est séquencé de manière « massive et systématique » grâce aux séquenceurs à très haut débit (le MiSeq d'*Illumina* en l'occurrence). Puis cet ADN est inventorié dans une *data base*. On y retrouve par exemple certains gènes ubiquitaires, c'est à dire les gènes qui sont présents chez tous les organismes vivants comme ceux codant pour les ribosomes<sup>21</sup>.

Même si ces gènes sont présents chez l'ensemble des vivant il existe une version propre à chaque espèce ce qui permet d'établir l'inventaire complet des espèces présentes dans l'environnement échantillonné.

L'ensemble des génomes présent dans l'échantillon et également séquencé est stocké puis comparé pour identifier certaines séquences parmi l'immense base de données génétiques et ainsi émettre des hypothèses sur leurs rôles en fonction des similarités.

Il est par exemple possible d'insérer certaines séquences génétiques inconnues dans le génome de bactéries pour qu'il s'exprime et dévoile sa fonction.

---

<sup>21</sup> Complexe chargé de convertir l'ARN (issus de l'ADN) en protéine

Une application concrète est la mission Tara(42), une analyse métagénomique de 579 échantillons d'eau de mer récoltés aux quatre coins du globe pour étudier la biodiversité du plancton responsable de près de 50 % de l'oxygène atmosphérique. Cette analyse a identifié près de 40 millions de gènes différents, dont 80 % jusqu'ici inconnus.

L'étude de gisement de biodiversité microbienne terrestre a permis également de mettre à jour un colossal réservoir de bactéries productrices d'antibiotiques naturels ce qui ouvre de nouvelles perspectives dans le traitement des BMR (bactéries multi-résistantes).

L'intestin humain héberge 100 000 milliards de micro-organismes soit dix fois plus que nos propres cellules.

Les analyses métagénomiques ont révélé une grande variabilité de familles bactériennes intestinales. Aujourd'hui de nombreuses études s'appliquent à établir des liens entre cet écosystème digestif et des pathologies métaboliques comme l'obésité et le diabète, les maladies cardiovasculaires les pathologies allergiques et inflammatoires. *Les études du microbiote intestinal humain (Meta HIT et MetaGenoPolis) dirigé par le professeur Dusko.E de l'INRA (Institut National de la recherche Agronomique) ont analysé par métagénomique le microbiote des selles de 169 personnes obèses, et 123 non-obèses. 23% des individus présentaient une pauvreté dans la diversité des bactéries intestinales, ce groupe se caractérise par une adiposité globale plus prononcée, une résistance à l'insuline, une dyslipidémie et un phénotype inflammatoire plus prononcé par rapport aux individus en richesse bactérienne(43).*

## **2.5 Séquençage et intelligence : Le Beijing Genomics Institute**

Le *Beijing Genomics Institute (BGI)* est un institut de génomique chinois qui dispose de la plus grande plate-forme de séquençage génétique au monde, avec 128 séquenceurs haut débit et un supercalculateur, capable de traiter 10 téraoctets de données par jour.

Le BGI a séquençé, en 2008, pour la première fois, l'intégralité du génome d'un individu asiatique dans le cadre du *Yan Huang Project*. Ce projet a pour ambition de séquencer l'intégralité du génome de 100 individus chinois pour produire une première carte à haute résolution des polymorphismes génétiques chinois.

Le BGI séquençage de 2500 individus porteurs d'un quotient intellectuel supérieur ou égal à 160 comparé au génome d'individus à QI moyen afin de déterminer les variantes génétiques favorisant l'intelligence. L'objectif est d'identifier des variations génétiques contribuant au modelage de l'intelligence Humaine.

Selon Laurent Alexandre une enquête internationale à paraître menée par l'agence de communication BETC révèle que 39 % des chinois sont favorables à l'augmentation du quotient intellectuel (QI) des enfants en modifiant les fœtus contre 13 % des français(45).

L'idée du lien entre génétique et intelligence repose sur notamment une étude anglaise et canadienne, parue en septembre 2015 dans la revue *Neuropsychopharmacology*, qui montrait les effets sur les capacités cognitives et les trouble anxieux et comportementaux de souris transgéniques pour inhiber l'activité de l'enzyme *Phosphodiesterase-4B* (PDE4B). Les *phosphodiesterases* (PDE) en tant que régulateurs des gradients intracellulaires de cAMP régulent des aspects fondamentaux de la fonction cérébrale pour l'apprentissage, la mémoire et des fonctions cognitives supérieures(44).

Dans les tests comportementaux, les souris transgéniques présentaient une diminution de l'anxiété et une augmentation de l'exploration, ainsi qu'une amélioration cognitive à travers plusieurs tests d'apprentissage et de mémoire, en cohérence avec des changements synaptiques comprenant une potentialisation à long terme améliorée et une dépotentialisation altérée ex vivo. Ces souris ont également démontré une neurogénèse améliorée(44).

Ces données établissent que l'inhibition spécifique de la PDE4B pourrait être une approche thérapeutique prometteuse pour les troubles de la cognition et de l'anxiété.

La dysfonction cognitive est une caractéristique essentielle de la démence et une caractéristique importante dans la maladie psychiatrique(44).

---

### 3. Cellules Souches

#### 3.1 Généralité sur les Cellules Souches

Une cellule souche est une cellule indifférenciée(CSI),

- Elles peuvent être totipotentes et former un organisme complet lorsqu'elles sont issues d'un blastomère, c'est à dire les premières cellules embryonnaires. A partir du 4eme jour (stade morula) de vie elle se distinguent entre cellules trophoblastes et cellules souches embryonnaires.
- Les cellules souches embryonnaires (CSE) issues de cellules souches du bouton embryonnaire du blastocyste distinctes des cellules trophoblastiques sont pluripotentes, dans le sens qu'elles ont la capacité de se différencier en n'importe quelle cellule de l'organisme, mais ne peuvent pas, seules, être à l'origine de l'être humain. Comme nous

allons le voir des cellules pluripotentes peuvent être artificiellement créées à partir de cellules différenciées, on parle alors de cellules souches pluripotentes induites (CSPi).

- Les cellules souches multipotentes (CSM) que l'on retrouve dans l'organisme adulte possèdent une capacité d'auto renouvellement tout au long de la vie de l'organise. Ces cellules multipotentes sont déterminées dans une voie de différenciation mais peuvent donner naissance à plusieurs types de cellules différents.

Par exemple Les cellules souches hématopoïétiques (CSH) se différencient en 2 types de progéniteurs primitifs. Le progéniteur commun myéloïde (CMP) qui lui-même se différencie en progéniteur commun granulocytaire monocytaire qui donnera les Polynucléaires ou en progéniteur commun mégacaryocytaire érythroblastique qui donnera des plaquettes sanguines ou des érythrocytes. Le progéniteur commun lymphoïde (CLP) donnera le progéniteur des cellules T/NK, le progéniteur des cellules B, et celui des cellules dendritiques.

- Certaines cellules souches sont unipotentes et ne peuvent donc produire uniquement un seul type cellulaire comme un hépatocyte ou un fibroblaste afin de régénérer un tissu.

Les cellules souches que l'on retrouve dans un organisme adulte maintiennent un pool de renouvellement par division asymétrique qui produit une cellule souches fille, et une cellule différenciée en tissus à régénérer. Cela permet à une population de cellules souches de maintenir un nombre constant lors de la production de cellules différenciées.

## 3.2 Cellules souches pluripotentes induites

### 3.2.1 Principes des iPSC

Les CSPi sont des cellules souches pluripotentes produites artificiellement à partir de la reprogrammation des cellules somatiques.

Des fibroblastes de souris adultes ont été induites en cellules souches pluripotentes en 2006 par l'équipe de *Takahashi K et Yamanaka S*, par l'administration de quatre facteurs de transcription *Sox2, Oct3 / 4, Klf4 et c-Myc*(46). Ces CSPi ont suscité l'espoir d'une nouvelle ère de médecine régénératrice, notamment car elles peuvent éviter et le rejet immunitaire inné associés aux cellules souches embryonnaires et les problèmes éthiques associés à cette pratique (46).

En 2007, l'équipe de *Takahashi K et Yamanaka S* publiait avoir réussi une reprogrammation réussie de cellules somatiques humaines différenciées en un état pluripotent permettrait la création de cellules souches à partir de fibroblastes cutanés humains adultes avec les mêmes quatre facteurs : *Oct3 / 4, Sox2, Klf4 et c-Myc*. Ces résultats démontrent que les cellules CSPi peuvent être générées à partir de fibroblastes humains adultes(47).

Le Dr Shinya Yamanaka a obtenu en 2012 le prix Nobel de médecine pour ces découvertes.

Le fibroblaste a été choisi devant la facilité d'accès par simple biopsie cutanée, ces résultats ont été reproductibles à partir de nombreuses autres sources de cellules somatiques différenciées.

### 3.2.2 Exemple d'application des CSPi

#### Remplacement de tissu nécrosé ou laissé (Médecine régénérative)

- Les cellules CSPi peuvent être efficacement, *in vitro*, différenciées en cellules précurseurs cérébrales, donnant lieu à différents types de cellules neuronales et gliales. Lors de la transplantation dans le cerveau de la souris fœtale, ces cellules migrent dans différentes régions du cerveau et se différencient en cellule gliales et en neurones, y compris les sous-types glutamatergiques, GABAergiques et catecholaminergiques. Les enregistrements électrophysiologiques et l'analyse morphologique ont démontré que les neurones greffés avaient une activité neuronale mature et étaient fonctionnellement intégrés dans le cerveau de l'hôte. De plus, des cellules ont été induites à se différencier en neurones dopaminergiques lors de leur transplantation dans le mésencéphale de rat adulte et ont pu améliorer le comportement dans un modèle de maladie de Parkinson.(48)
- Des CSPi issu de fibroblastes humains, différenciés en neurones (hiPSC-NSs) ont été transplantés chez des souris dont la moelle épinière avait été lésée. Les hiPSC-NS greffés ont survécu, ont migré et se sont différenciés dans les trois lignées neurales majeures (neurones, astrocytes et oligodendrocytes) dans la moelle épinière lésée. Une formation de synapses entre les neurones dérivés de hiPSC-NS et les neurones de souris hôtes a eu lieu de même que l'expression de facteurs neurotrophiques, l'angiogenèse, la repousse axonale et l'apparition d'une quantité accrue de myéline dans la zone lésée. Ces effets positifs ont entraîné une récupération fonctionnelle nettement supérieure à celle des animaux contrôlés, et la récupération a persisté jusqu'à la fin de la période d'observation de 112 jours post lésion de moelle épinière. Aucune formation de tumeur n'a été observée chez les souris greffées par HiPSC-NS(49).
- Une étude de l'Université de Shinshu publiée dans *Nature* en 2016 ouvre de nouvelles perspectives pour les cellules souches dans le traitement de la nécrose myocardique(50). Des CSPi dérivées ont été générées à partir de fibroblastes d'un *singe cynomolgus* (*Macaca fascicularis*) et ensuite différenciées en cardiomyocytes (iPSC-CM). Puis 5 singes ont été soumis à un infarctus du myocarde suivi d'une injection intra-myocardique directe d'iPSC-CM. Les cardiomyocytes greffés ont survécu

pendant 12 semaines sans preuve de rejet immunitaire chez ces singes traités avec des doses efficaces d'immunosuppresseur par de la méthylprednisolone et du Tacrolimus. La transplantation des iPSC-CM a amélioré la fonction contractile cardiaque à 4 et 12 semaines après la transplantation. Les CSPi pourraient constituer une source potentielle de cardiomyocytes autologues spécifiques du patient pour la réparation cardiaque, fournissant un avantage majeur sur d'autres sources de cellules en termes de rejet immunitaire. Cette découverte pourrait être optimisée et régler les problèmes liés à la compatibilité immunologique en générant un tissu myocardique à partir de cellule iPSC-CM issu de l'individu infracté(50).

#### *3.2.2.1 Cellule souche et thérapie génique*

Des bourgeons de pancréas fœtaux humains ont été génétiquement modifiés avec un vecteur viral pour exprimer le transgène SV40LT sous le contrôle du promoteur de l'insuline. Les bourgeons transduits ont ensuite été greffés à des souris diabétiques induites afin qu'ils puissent se développer en tissu pancréatique mature(51).

Lors de la différenciation, les cellules  $\beta$  nouvellement formées exprimant SV40LT ont proliféré et formé des insulinomes. Ces cellules représentent un outil unique pour la découverte de médicaments à grande échelle et fournissent un modèle préclinique pour la thérapie de remplacement cellulaire dans le diabète. Cette technologie pourrait être généralisée pour générer d'autres lignées cellulaires humaines lorsque le promoteur spécifique du type cellulaire est disponible (52).

### 3.3 Cellule souche et réversibilité du vieillissement

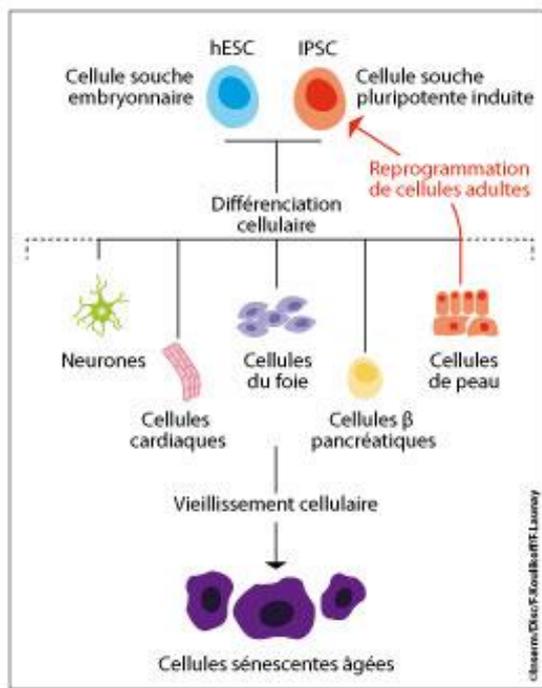


Illustration 8 Cellule souche et réversibilité du vieillissement

La possibilité de la réversibilité du vieillissement par reprogrammation cellulaire a été publiée en 2011 par l'équipe AVENIR de l'INSERM et de l'Institut de génomique fonctionnelle (Inserm/CNRS/Université de Montpellier 1 et 2). Des fibroblastes d'un donneur de 74 ans ont été prélevés et multipliés pour atteindre la sénescence caractérisée par l'arrêt de la prolifération des cellules. Ils ont ensuite procédé à la reprogrammation *in vitro* de ces cellules grâce à un lot de 6 facteurs génétiques (OCT4, SOX2, C MYC, KLF4, NANOG, LIN28). Ces cellules âgées ont donc été reprogrammées en cellules souches pluripotente ont retrouvé leur jeunesse et les caractéristiques des cellules souches

embryonnaires (hESC). Ces cellules *CSPi rajeunies* ont été à nouveau différenciées en cellules adultes et comparées aux cellules âgées d'origine ainsi qu'à celles obtenues à partir de cellules souches pluripotentes de type embryonnaires (hESC). Les marqueurs de l'âge des cellules ont été effacés et les CPSi, obtenues peuvent produire des cellules fonctionnelles, de tous types avec une capacité de prolifération et une longévité accrue. Les résultats obtenus ont conduit l'équipe de recherche à tester le cocktail sur des cellules plus âgées de 92, 94, 96 jusqu'à 101 ans avec les mêmes résultats. (52).

---

### 4. Biotechnologie : Clonage thérapeutique et reproductif

Le clonage est l'obtention de manière naturelle ou artificielle, par des manipulations biologiques, d'êtres unicellulaire ou pluricellulaires dotés d'un patrimoine génétique identique. Nous aborderons ici uniquement le clonage d'êtres vivants (être uni ou pluricellulaire).

La multiplication par amplification d'un fragment d'ADN vecteur ou d'un gène par l'intermédiaire d'un micro-organisme permettant par exemple la production de protéine recombinante correspondante ne sera pas traité.

Nous reviendrons sur les différentes techniques de clonage qui ne sont pas exclusives et sont parfois complémentaires puis nous aborderons les différents objectifs du clonage avec le clonage thérapeutique et reproductif.

- Le clonage par séparation de blastomères consiste en le dédoublement par séparation en un facteur 2 d'un embryon entre 5 à 7 jours après la fécondation.  
Chaque blastomère peut produire un nouvel individu génétiquement identique aux autres, ce processus est l'équivalent de ce qui se réalise naturellement lors du développement de jumeaux monozygotes, à ceci près que les différents individus clonés ne se sont généralement pas implantés dans le même utérus.
- Le clonage par transplantation nucléaire consiste à enlever le noyau haploïde d'un œuf et à le remplacer avec le noyau diploïde d'une cellule somatique issue d'un patient donneur.

Le clonage humain consisterait en la création d'un embryon humain issu d'une reproduction sexuée ou d'une reproduction asexuée et contenant une copie du patrimoine génétique d'un humain vivant ou mort :

- Si l'on implante cet embryon dans l'utérus d'une femme dans l'optique de donner naissance à un enfant, on parle de clonage humain reproductif (définition du Parlement Européen, 2001 et de l'OMS, 2002.)
- Si l'embryon est produit à des fins de recherche ou dans le but de l'utiliser pour développer des cellules souches sans qu'une implantation dans l'utérus maternel ne soit prévue, on parle alors de clonage humain à but thérapeutique.

## **4.1 Type de Clonage**

### *4.1.1 Clonage Thérapeutique*

Le clonage thérapeutique est une technique de création d'embryon génétiquement identique au patient-donneur par transfert du noyau d'une cellule somatique du donneur dans un ovule énucléé. La finalité est la reproduction, l'orientation, la différenciation et l'injection de cellule souche embryonnaire (NT-ESCs) multipotentes dérivées des blastocystes de cet embryon à des fins thérapeutique comme par exemple la transplantation d'organe où le remplacement de tissus pathologiques immunologiquement compatible.

L'embryon est issu d'une reproduction asexuée, car il n'y a pas de fusion de gamètes, ni de recombinaison de gènes parentaux.

Cette technique a été rendue célèbre en 1997 par l'équipe du Docteur *Ian Wilmut* avec le très médiatisé clonage de la brebis Dolly, premier mammifère cloné à partir d'un individu vivant.

Il s'oppose au clonage reproductif qui vise à reproduire un être vivant.

En 2013 était publié dans la revue *Cell*(53) la réussite de la reprogrammation de cellules somatiques (des fibroblastes dermiques fœtaux humain comme cellules de donneurs nucléaires) en cellules souches embryonnaires pluripotentes (NT-ESCs) par *transfert nucléaire de cellules somatiques* (SCNT) dans des ovocytes extraits d'un donneur d'ovules pour des études de mécanismes pathologiques et pour le développement de thérapies spécifiques. Les NT-CES avaient affiché des caryotypes diploïdes normaux et ont hérité du génome nucléaire exclusivement des cellules somatiques patient-donneur.

Les résultats étaient reproductibles pour plusieurs donneurs nucléaires et donneurs d'ovocyte.

*Le clonage humain thérapeutique* (CHT) pour produire à partir d'embryons génétiquement similaires au patient-donneur des organes ou des tissus de remplacement pourrait répondre à la problématique de la rareté des organes et des problèmes de rejet.

Cependant il est possible qu'avant de se concrétiser il devienne obsolète en raison des progrès sur les cellules souches, qu'il semble possible d'obtenir sans recours à leur fabrication indirecte par clonage, comme nous l'avons vu avec l'équipe Avenir de l'INSERM et de l'Institut de génomique fonctionnelle (Inserm/CNRS/Université de Montpellier 1 et 2) (52) par la reprogrammation cellulaire.

#### 4.1.2 Clonage Reproductif

La segmentation correspond en une série de divisions, morcelant l'œuf issu de la fécondation, de deux gamètes ou d'un transfert d'un noyau diploïde dans un ovocyte énucléé, en cellules de plus en plus petites appelées blastomères.

A partir d'une douzaine de blastomères, la cellule-œuf prend la forme d'une petite mûre, appelée morula. Dès que la morula a une trentaine de blastomères, il apparaît une cavité liquidienne, ce qui aboutit à la formation d'un blastocyste du 5 au 7<sup>ème</sup> jour, dans lequel les trophoblastes, cellules à l'origine du futur placenta, se distinguent déjà des cellules embryonnaires multipotentes dans le bouton embryonnaire, et d'une cavité intercellulaire.

Le clonage reproductif consiste en la production d'un ensemble d'individus clones par scission d'un blastocyste à répétition ou par reproduction d'individu vivant par transfert nucléaire.

Cette technique est interdite à l'espèce humaine et comporte peu d'intérêt en application.

Cependant en agroalimentaire elle est particulièrement utilisée et maîtrisée pour la reproduction d'animaux à haut patrimoine génétique comme par exemple dans le milieu équin pour des étalons ou des coureurs performants.

Depuis 1997, des clones ont été obtenus chez les principales espèces d'élevage (mouton, vache, chèvre, porc, cheval, lapin).

#### *4.1.2.1 Le clonage somatique : un état des lieux chez les bovins et les petits ruminants par Y.HEYMAN de L'INRA*

En 2005 Y.HEYMAN a publié pour l'INRA (*Institut*



*Illustration 9 Clones somatiques issus d'une vache donneuse. De gauche à droite : la vache n°38 (isolée) donneuse de cellules de peau puis ses 17 clones par ordre d'âge décroissant (de 4 ans à 3 mois).*

*National de la recherche Agronomique) Le clonage somatique : un état des lieux chez les bovins et les petits ruminants (54).*

Chez les animaux d'élevage, le clonage en vue d'obtenir un ensemble d'individus possédant le même génome par la technique de transfert de noyaux de cellule embryonnaires dans des ovocytes énucléés est limité en raison du faible nombre de noyaux disponibles (environ une trentaine). Le clonage somatique à partir de cellules différenciées qui peuvent être prélevées sur un animal adulte avant d'être réimplantés dans des femelles porteuses qui assureront la gestation et bien connu. Les fibroblastes constituent, là aussi une source de noyaux facilement accessibles et leur prélèvement n'est pas traumatisant pour l'animal donneur.

L'efficacité globale reste encore faible et très variable (0,5 à 7 % de veaux nés par rapport aux embryons reconstitués) selon les laboratoires et peut être l'origine génétique des lignées cellulaires

#### *Nombre d'animaux obtenus*

En 2005, l'IETS (*International Embryo Transfer Society*) estimait à environ 1.500 le nombre total de veaux nés à travers le monde majoritairement en Amérique du Nord et en Nouvelle-Zélande. La France avait fait naître 72 veaux, tous produits par l'INRA.

### *Connaissance des animaux clonés*

La plupart des animaux clonés qui ont passé la période critique périnatale et le sevrage, se développent bien et présentent une apparence physiologique normale.

Une étude clinique réalisée à *Jouy-en-Josas* sur des groupes de bovins clonés ou témoins issus d'insémination artificielle, et élevés dans les mêmes conditions au sein de l'Unités Expérimentales INRA-Bressonvilliers, a permis un suivi de ces veaux jusqu'à l'âge adulte.

L'analyse des différents paramètres cliniques, hématologiques ou biochimiques montre que les veaux clonés peuvent présenter des différences par rapport aux témoins avant l'âge de deux mois mais qu'ensuite ces différences disparaissent et aucun des critères testés ne permet de les distinguer.

Au-delà du sevrage, l'analyse de 28 paramètres sanguins biochimiques et hématologiques chez 9 clones et 9 témoins jusqu'à l'âge de 2 ans n'a révélé aucune différence entre ces animaux.

### *Longévité des animaux Cloné*

Les souris clonées peuvent avoir une longévité comparable à celle de souris témoins. En effet des souris clonées obtenues au laboratoire ont vécu plus de deux années dont une jusqu'à 902 jours, un âge respectable chez cette espèce (55) Il n'y a pas de démonstration d'un vieillissement prématuré chez les clones(55). Cependant, sur la base de mesures de longueur de télomères, il a été dit que la brebis Dolly comportait des cellules qui correspondaient à celles d'une brebis plus vieille de 6 ans (l'âge de la brebis donneuse de cellule). Ce résultat n'a pas été confirmé chez d'autres espèces et le critère de la longueur des télomères, sujette à de grandes variations d'un individu à l'autre, doit être interprété avec beaucoup de précautions.

Le cytoplasme de l'œuf possède une activité télomérase, qui permet au noyau somatique transplanté de retrouver une longueur de télomères similaire à celle rencontrée dans des individus non clonés de même âge comme cela a été montré chez la souris et le bovin(55).

## **4.2 Aspect éthique et législatif**

En septembre 2015, le Parlement européen a interdit le clonage d'animaux d'élevage et l'importation d'animaux clonés, de leurs descendants et de produits qui en sont issus dans l'Union européenne.

En France , le clonage humain est considéré comme un crime contre l'Humanité.

Cependant un rapport d'une commission parlementaire au Royaume-Uni de mars 2005 indiquait que l'opposition au clonage reproductif était basée plus sur des tabous que sur des arguments cohérents.

---

## 5. Biotechnologie et ectogenèse : l'utérus artificiel

L'ectogenèse désigne un procédé théorique permettant le développement de l'embryon humain complet depuis la fécondation jusqu'à sa maturité dans une matrice extra corporelle, exo-matrice ou utérus artificiel

Selon *Henri Atlan*, médecin biologiste, ancien membre du Comité Consultatif National d'éthique et Directeur d'études à l'*Ecole des Hautes études en sciences sociale* (EHESS) qui publie en 2005, *L'utérus artificiel*(56), l'ectogenèse pourrait être développée dans un délai raisonnable d'un siècle. Selon lui on peut légitimement penser que si l'ectogenèse devient une possibilité, alors une part non négligeable de femmes voudra l'utiliser pour échapper aux contraintes de la grossesse.

Entre l'implantation et l'accouchement, le développement de l'embryon dépend entièrement de l'utérus et du placenta au plan homéostatique, nutritif, hormonal et immunitaire. En cas de prématurité les nouveau-nés sont prise en charge en centre de réanimation néonatale à partir de 22 ou 24 SA pour prendre le relais des conditions de vie intra-utérine avec des risques de complications importantes voire fatales. Il n'y pas aujourd'hui d'autres alternatives à l'utéro-placenta naturel entre l'implantation et 24 SA. Le recours à l'utéro-placenta artificiel pourrait donc être envisagé au minimum entre 3 SA et 24 SA soit 147 jours ou au maximum entre 3 SA et 39 SA soit 252 jours

Aujourd'hui les recherches sont consacrées aux deux extrémités du développement d'un organisme humain, certaines tentent de prolonger les jours de développement des embryons in vitro et d'autres développent des techniques pour permettre la vie des très grands prématurés inférieurs à 26, 24 ou 22 semaines d'aménorrhées.

### 5.1 Développement des embryons

Les embryons humains résultants de la fusion d'un ovocyte et d'un spermatozoïde, physiologiquement dans les trompes de Fallope ou bien artificielle en laboratoire doivent, pour

continuer à se développer, s'implanter dans la paroi interne de l'utérus vers le septième jour suivant leur fécondation. C'est un processus naturel de l'embryogénie.

En pratique clinique, les équipes de procréation médicalement assistée (PMA) doivent impérativement procéder à l'implantation des embryons (obtenus par fécondation in vitro (FIV) classique ou par injection intra-cytoplasmique de spermatozoïdes, (ICSI) par insémination artificielle (fécondation in vitro et transfert embryonnaire FIVET)) dans la paroi utérine dans le deux, trois ou cinq jours après la fécondation (Transfert d'embryons congelés TEC) pour assurer leur viabilité.

#### *5.1.1 L'endomètre Artificiel de Hung-Ching*

En 2002 aux États-Unis, *Helen Hung Ching Liu*, du laboratoire d'endocrinologie reproductive de l'Université Cornell, (New York), a présenté au Congrès américain ses travaux sur l'implantation d'embryons sur des tapis de cellules endométriales autologues prélevées en milieu de phase lutéale.

C'est un système de co-culture d'endomètre artificiel qui associe les cellules épithéliales et stromales, un modèle signalé comme étant la première étape vers un utérus artificiel.

Dans ces systèmes de co-culture, les cellules épithéliales et stromales ont été déposées sur des supports de matrigel. Ceci permet aux cellules épithéliales de présenter une orientation spontanée et une viabilité prometteuse, assurant le développement de nouveaux modèles d'étude des interactions mère-embryon.

#### *5.1.2 Par-delà la limite éthique des 14 jours*

En 2016, *Anna Hupalowska* et *Magdalena Zernicka-Goetz* de l'Université de Cambridge et de Rockefeller annoncent dans la revue *Nature Cell Biology* avoir développé un protocole expérimental ayant permis d'observer les 13 premiers jours de maturation d'un embryon après la fertilisation ainsi qu'un montage expérimental mimant pour la première fois in vitro le processus d'implantation de l'embryon(57).

Elles ont établi un système in vitro pour la culture des embryons humains au-delà des stades d'implantation.

Celles-ci incluent la différenciation des lignées embryonnaires pluripotentes et extra-embryonnaires, et des réarrangements morphogénétiques conduisant à la génération d'un disque

*embryonnaire* didermique, la formation d'une cavité pro-amniotique au sein de la lignée embryonnaire, l'apparition du sac vitellin et la différenciation des trophoblastes.

Les résultats indiquent que les événements de remodelage critique à ce stade du développement humain sont embryo-autonomes, mettant en évidence les propriétés d'auto-organisation remarquables et imprévues des embryons humains(58).

L'expérience a dû être arrêtée au 13<sup>ème</sup> jour qui est une limite législative américaine au-delà de laquelle les chercheurs n'ont pas le droit de poursuivre leurs expérimentations sur les embryons humains. Il s'agit d'une performance technique (pour mémoire jusqu'alors aucun embryon humain n'avait survécu plus de 9 jours *in vitro*). Au cours d'une conférence de presse organisée par la revue *Nature*, le *Pr Zernicka-Goetz* a estimé que ce serait *utile* de porter à 16 jours la limite fixée au développement de l'embryon en vue d'étudier la phase de gastrulation.

## 5.2 L'utérus artificiel

Les techniques actuellement employées dans les unités de néonatalogie ne permettent pas la survie des prématurés avant 24 SA et reste source de mortalité et de morbidité à court terme (lésions hémorragiques intraventriculaires, parenchymateuses ou ischémiques, canal artériel persistant, maladie des membranes hyalines, entérocolites ulcéronécrosantes).

Plusieurs avancées ont vu le jour ces dernières années pour réanimer ou maintenir en vie certains grands prématurés (ventilation gazeuse par oscillations à haute fréquence (OHF), administration de NO ou de surfactant exogène), qui ont fait leur preuve. D'autres, ventilation liquide avec des fluorocarbones, circulation extracorporelle (CEC) sans pompe circulatoire, en sont encore au stade expérimental

### 5.2.1 Prolongé la durée de développement des embryons animaux *in vitro*

De 1987 à 1998, *Yoshinori Kuwabara* et son équipe à l'Université de Tokyo ont publié leurs travaux sur le maintien en survie de fœtus de chèvre dans un utérus artificiel constitué d'un incubateur contenant un liquide thermostaté mimant le liquide amniotique et d'une CEC comprenant un oxygénateur, reliée aux vaisseaux ombilicaux du fœtus mimant une ecmo artérioveineuse(59).

Les premiers fœtus ont été gardés dans des conditions physiologiques stables pendant 165 heures. En supprimant les mouvements du fœtus et sa déglutition avec du *bromure de pancuronium*, deux fœtus de 120 et 128 jours (j) survécurent 494 et 543 heures approchant le

terme à 150 j. A la sortie de l'incubateur, les chevreaux furent placés en ventilation assistée et ils vécurent environ 1 semaine (59).

En unité de soins intensifs, la CEC est employée pour oxygéner le sang des nouveau-nés en détresse respiratoire sévère. Selon *Jean Claude Challier* qui publie « *Quel avenir pour l'ectogenèse et la transplantation d'utérus* » en 2013, dans le cas de l'utérus artificiel, *un dialyseur devrait compléter cette configuration à moins d'utiliser un échangeur qui assure à la fois l'échange des gaz et des nutriments. On pourrait y adjoindre un second dialyseur pour épurer le liquide amniotique afin d'éviter son renouvellement manuel. Le remplissage et le volume des circuits de perfusion, le régime de l'oxygénateur, le réglage de la température, l'adaptation du débit de perfusion et de la composition du milieu de perfusion pour subvenir aux besoins métaboliques et épurer le sang seraient autant de paramètres à surveiller.*

L'étude *An extra-uterine system to physiologically support the extreme premature lamb du Children's Hospital de Philadelphia* publiée dans *Nature Communication* en avril 2016 revient sur la réussite spectaculaire d'un modèle d'utérus artificiel : *le Biobag*(60).

C'est un système qui incorpore un circuit d'oxygénateur sans pompe relié au fœtus d'un agneau par l'intermédiaire d'une interface de cordon ombilical qui est maintenue dans un circuit fermé de « liquide amniotique » qui reproduit de près l'environnement de l'utérus. Le dispositif a été testé pendant quatre semaines sur des fœtus de moutons âgés de 105 à 120 jours, ce qui équivaut à des fœtus humains de 22 à 24 semaines de gestation.

Au terme de quatre semaines, les agneaux prématurés ont été placés sous respirateur comme on procède en temps normal pour des enfants prématurés en néonatalogie.

Les agneaux étudiés conservent une hémodynamique stable, ont des paramètres normaux de gaz sanguin et d'oxygénation et maintiennent la perméabilité de la circulation fœtale normale. Avec un soutien nutritionnel approprié, ils présentent une croissance somatique normale, une maturation pulmonaire, une croissance cérébrale et une myélinisation normale. Il pourrait donc s'agir d'un dispositif de soutien de très grands prématurés.

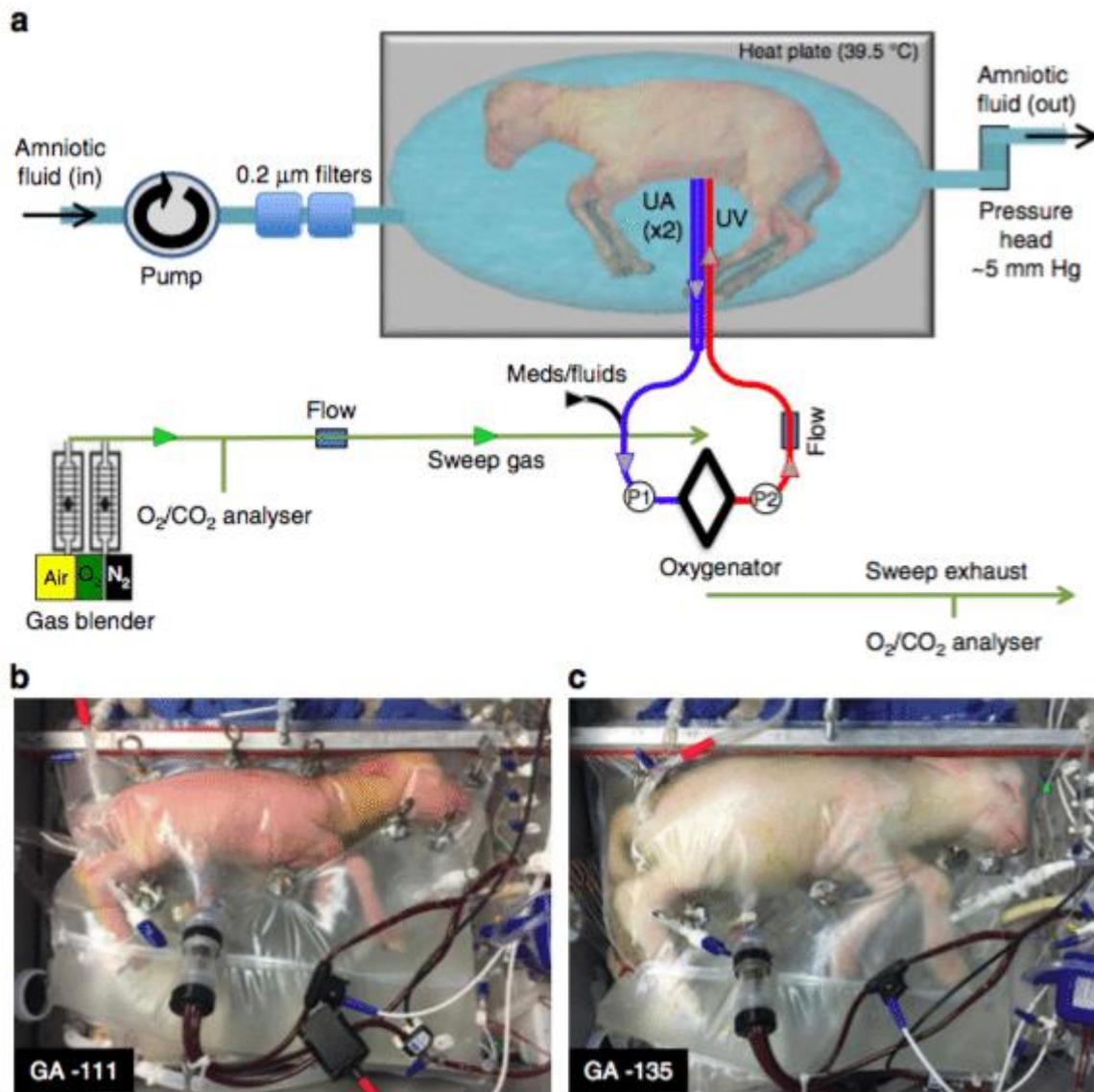


Illustration 10 : Un agneau pris en photo après 4 jours (à gauche) et après 28 jours (à droite) dans un utérus artificiel.

## 6. Suspension Cryonique

Après la mort légale d'un individu, son corps est refroidi à la température cryogénique (en dessous de  $-100^{\circ}\text{C}$ ) ; puis le corps est maintenu à cette température jusqu'à ce que le retour à la vie de l'individu, la réparation des dommages et maladies qui ont causé sa mort et la réhabilitation aux pratiques de la société existante à ce moment-là, semblent possibles.

La révolution dans la pratique de la cryogénie vient des nouveaux procédés de vitrification qui préservent les tissus. Le procédé qui consiste en la congélation ou surcongélation du corps est obsolète, la vitrification consiste au remplacement de l'essentiel des fluides corporels par des cryoprotecteurs, dont la propriété physique est de ne pas cristalliser à des températures extrêmes ce qui préserve des détériorations importantes des tissus aux très basses températures.

## 6.1 Cryoprotection

La découverte des propriétés cryoprotectrices du glycérol par *Polge, Smith et Parkes* en 1949 a permis l'expansion de la cryogénéisation d'organes dès les années 1950. Le point de départ de la recherche dans la cryogénie se fait après la parution de l'ouvrage de *Robert Ettinger* « *La perspective de l'immortalité* », publié en 1962. Les recherches notamment sur la congélation des embryons et sur la vitrification ont permis l'élaboration d'un classement des cryoprotecteurs et l'ajout du *1,2 – propanediol* aux solutions de cryogénéisation des sociétés américaines (61) qui ont permis des avancées considérables dans la cryoconservation des tissus et des organes.

En 2004, *Gegory Fahy* et *Brian Wowk* étaient parvenus à réaliser une allogreffe à des lapins dont les reins avaient été refroidis à  $-45^{\circ}\text{C}$  pendant plus de 25 minutes avant de les ramener à température ambiante et de les réimplanter. Tous les reins ont soutenu la vie après transplantation et les valeurs de créatinine sont retournées à leur valeur de base, après un pic transitoire(62).

En Décembre 2015 l'étude de *Robert McIntyre* du MIT « *Aldehyde-stabilized cryopreservation. Cryobiology* » publiée dans la revue « *Cryobiology* » (Revue de référence de la cryoconservation) a montré que l'utilisation d'aldéhyde stabilisée dans le système vasculaire d'un cerveau de lapin lui permettrait d'être refroidi à  $-211$  degrés Fahrenheit ( $-135^{\circ}\text{C}$ ) tout en laissant intactes les structures des membranes cellulaires, des synapses, et des structures intracellulaires analysées par microscope électronique(63).

## 6.2 Aspects pratiques et législatifs

Le premier individu à avoir été et demeurant cryogénisé est *James Bedford* en 1967.

A ce jour soixante-douze corps et têtes sont conservés aux USA dans les différentes sociétés offrant des services de cryonie, et un peu moins des 300 dans le monde entier dans les 3 principales sociétés : *Alcor*, *Kriorus* et *Cryonics Institute*.

1 200 individus auraient souscrit à un programme de suspension cryonique en 2013(64).

La suspension d'un corps entier ou de la tête seule (neuro-suspension) coûte respectivement (chiffres de la société *Alcor*) 120.000 et 50.000 dollars US.

Le coût annuel de conservation d'un corps est évalué à 2.465 Dollar US (689 \$ pour une tête seule).

Pour le moment la problématique de la « résurrection » n'a pas été abordée par ces sociétés ce qui explique le peu de crédit que leur apporte la communauté scientifique. Cependant des chiffres aussi importants laissent penser que la demande existe bel et bien.

En 2016 la cryogénéisation de corps ou partie de corps humains décédés n'est pas illégale, cependant il est illégal d'expérimenter la suspension cryonique sur des humains vivants.

Les législations interdisent de cryopréserver un vivant en bonne santé.

En France, ancien pays pionner, la cryonie est totalement illégale même après la mort, ce qui est quasiment unique au monde. L'arrêt du Conseil d'Etat du 06 janvier 2006 l'a confirmé.

Les deux seuls modes de sépulture acceptés par la législation française sont l'inhumation et la crémation.

---

## **7. Biotechnologie, opinions publique et législation**

### **7.1 Etude “*The Public and the Gene Editin Revolution*”**

En avril 2016, une analyse des données de 17 sondages américain d'opinion menés au cours des trois dernières décennies a été publié dans le *New England Journal of Medecine*(65). L'objectif était de déterminer ce que le public américain pensait de la thérapie génique et de l'édition de gènes chez les adultes et les enfants, ce qu'ils pensaient de la modification des caractéristiques génétiques des embryons humains ou des cellules germinales ainsi que leur avis sur les tests génétiques. (Annexe 3 : Résultats de l'étude "Public attitudes about Gene Therapy or Gene Editing)

#### *7.1.1.1 Connaissance scientifique*

Les sondeurs ont utilisé une variété de termes faciles à comprendre pour rendre les questions pertinentes et être scientifiquement précis car des études ont montré que le public n'est pas familier avec des termes utilisés dans le débat sur la thérapie génique et l'édition de génétique. Par exemple, l'édition des lignées germinales a souvent été décrite dans les questions de sondage comme une modification des « *gènes des bébés à naître* », « *la structure génétique d'un enfant dans l'utérus* » ou « *les caractéristiques génétiques d'un bébé* ».

- 31 % disent avoir entendu ou lu beaucoup de choses sur ce sujet,
- 69 % ont entendu ou lu peu ou pas du tout

#### *7.1.1.2 Thérapie génique à visée curative.*

- Au cours des 30 dernières années, la majorité du public a exprimé l'approbation de la thérapie génique pour améliorer la santé de la personne traitée, que ce soit en soignant une maladie mortelle ou habituellement mortelle (65 à 87 %) ou en réduisant le risque d'une maladie mortelle se développant plus tard dans la vie (77 à 78 %).
- Près des deux tiers (64 %) du public disent que le gouvernement fédéral devrait financer la recherche scientifique sur le développement de nouveaux traitements de thérapie génique et 59 % pensent que la Food and Drug Administration devrait approuver les thérapies géniques aux États-Unis

#### *7.1.1.3 Modification du génome*

- 84 % des États-Uniens interrogés approuvent la modification des gènes d'une personne pour empêcher ses enfants d'hériter d'une maladie génétique généralement mortelle et 66 à 77% l'approuvent pour un défaut de naissance non fatal.
- Environ 86 à 88 % des États-Uniens disent que s'ils avaient un enfant ayant une maladie génétique généralement mortelle, ils seraient prêts à faire subir à l'enfant un traitement pour corriger ces gènes.
- 59 % approuvent des parents qui modifieraient leurs propres gènes pour empêcher leurs enfants d'avoir une maladie génétique.

#### *7.1.1.4 Modification de l'intelligence et trait physique*

- En général, la majorité des États-Uniens ne soutiennent pas le changement des gènes humains avant la naissance. L'opposition est la plus élevée pour changer les gènes afin d'améliorer l'intelligence, les traits physiques, ou l'apparence.
- 34 à 44 % approuvent l'édition de gènes pour améliorer l'intelligence, 25 à 44 % pour la modification des traits physiques ou 8 à 28 % pour l'apparence.

#### *7.1.1.5 Test de dépistage génétique*

- Seuls 6 à 8 % des adultes États-Uniens déclarent avoir déjà subi des tests génétiques. Leurs principales raisons étaient les inquiétudes concernant les problèmes de santé des futurs enfants (35 %), le désir d'en apprendre davantage sur le patrimoine ou l'histoire familiale (25 %) et les préoccupations concernant les problèmes de santé futurs (18 %).

- La grande majorité (81 %) des personnes qui ont subi des tests génétiques disent que les résultats leur ont été utiles.
- Bon nombre des questions de sondages, posées au cours des trois dernières décennies, manquent de rigueur scientifique. Une telle imprécision laisse entendre que beaucoup de questions clés sont difficiles à comprendre pour le public. Pour obtenir une image complète et précise de l'état de l'opinion publique, nous aurions besoin d'un niveau d'éducation publique qui n'a pas encore été atteint.  
Néanmoins, un schéma général clair ressort des résultats des sondages. La majorité du public favorise la thérapie génique pour l'utilisation clinique chez les patients atteints de maladies graves.
- La majorité ne supporte pas l'édition de gènes dans les embryons humains ou les cellules germinales, mais le niveau d'opposition varie en fonction de ses objectifs. Bien sûr, l'opinion publique pourrait évoluer au fil du temps, car les discussions sur ces questions continuent d'évoluer. L'opinion publique pourrait être éduquée et mieux connaître les implications et les problématiques de sécurité des technologies d'édition génétique.

## **7.2 Les Français et la technique du CRISPR-Cas9 sondage Ifop pour Alliance Vita**

En mai 2016 la société de sondage *Ifop* a rendu publique une enquête d'opinion intitulée « *Les Français et la technique du CRISPR-Cas9* » commandée par l'association pro vie *Alliance VITA*. L'enquête a été menée auprès d'un échantillon de 1 007 personnes, représentatives de la population française âgée de 18 ans et plus, par questionnaire auto-administré en ligne(66).

La technique de génie génétique CRISPR-Cas9 est aujourd'hui très faiblement connue dans l'opinion, seuls 9% des Français déclarent en avoir déjà entendu parler. Même parmi les diplômés du supérieur et les professions libérales et cadres supérieurs, catégories traditionnellement les mieux informées, le niveau de connaissance est très faible (12 %).

Une fois expliquée et présentée aux interviewés, cette technique génétique suscite des jugements très polarisés et contrastés.

- 76% des Français seraient ainsi favorables à l'utilisation du CRISPR-Cas9 sur des adultes ou des enfants souffrant d'une maladie d'origine génétique dans le cadre d'une thérapie génique pour soigner ou améliorer leur qualité de vie.

- Mais à l'inverse, exactement la même proportion (76 %) seraient opposée (dont 40 % très opposée) au recours à cette technique pour modifier génétiquement in vitro des embryons humains.
- Cette opposition de principe atteint son paroxysme auprès des catholiques pratiquants (80 % d'opposés) mais elle est également très présente parmi les athées (71 %) et les personnes d'une confession autre que le catholicisme (73 %), on constate néanmoins que les jeunes générations seraient un peu moins réfractaires : 70 % d'opposés parmi les moins de 35 ans contre 84 % parmi les 65 ans et plus.

Dans ce contexte marqué par l'avancée de la recherche scientifique, les Français se montrent à la fois inquiets face au risque de voir se développer les comportements d'apprentis-sorciers et en demande d'un encadrement juridique et éthique de ces progrès médicaux. 67 % des interviewés se déclarent inquiets face à l'accélération de l'intervention des scientifiques sur le génome humain et la même proportion (68 %) est favorable à ce que la France demande un encadrement international du recours au CRISPR-Cas9.

### **7.3 Modification génétique des embryons humains et législation dans le monde**

De nombreuses enquêtes auprès des populations occidentales ont trouvé une opposition importante à de nombreuses formes d'amélioration humaine.

La Chine, qui est le premier pays, en 2015, à avoir modifié des embryons humains non viables avec la technique CRISPER, est amenée à être le chef de file mondial dans l'amélioration génétique, étant donné que de nombreux pays occidentaux jugent cette science comme contraire à l'éthique et trop dangereuse à mettre en œuvre.

Le 26 mai 2015 Barak Obama alors président des Etats Unis d'Amérique a fait connaître sa position concernant la modification du génome des lignées germinales, via une note officielle. Le *Dr. John Holdren*, Conseiller du Président Barack Obama pour la Science et la Technologie, a ainsi déclaré que la modification des gamètes humains à des fins cliniques était une ligne à ne pas franchir pour le moment et que les choix faits dans un seul pays peuvent affecter tous les autres.

Des scientifiques britanniques ont obtenu en février 2016 une autorisation de l'autorité britannique pour la fertilité humaine et l'embryologie pour procéder à l'édition de gènes sur des embryons humains. L'accord concerne la compréhension du développement des embryons, des

recherches qui seront menées par *Kathy Niakan*, de l'Institut Francis Crick. Cette autorisation stipule que les embryons génétiquement modifiés doivent être détruits

*Fredrik Lanner* de l'Institut Karolinska de Stockholm a obtenu en avril 2016 l'approbation des autorités suédoises de modifier le génome d'embryons humains à l'aide de CRISPR.

Les lois bioéthique Française, l'article 16-4 du code civil et L 2451-2 du code de la santé publique interdisent toute modification du patrimoine héréditaire de l'espèce humaine.

La France ayant ratifié la convention d'Oviedo, l'article 13 s'applique et interdit à notre pays d'accepter des modifications du génome sur les cellules germinales et les embryons humains. Cependant de récentes modifications du statut de la recherche sur l'embryon sont apparues dans la loi de modernisation du système de santé, dite « loi Santé », du 26 janvier 2016. A l'initiative du Gouvernement qui a fait voter un amendement à l'Assemblée nationale, cette loi instaure au paragraphe III de l'article 155 une disposition qui permet, dans le cadre de l'assistance médicale à la procréation et avec le consentement des membres du couple, la réalisation de recherches biomédicales sur des gamètes destinés à constituer un embryon ou sur un embryon in-vitro avant ou après son transfert à des fins de gestation. Saisit en recours le Conseil Constitutionnel a estimé cet article de loi conforme à la Constitution.

La *Convention d'Oviedo* est le seul instrument juridique contraignant international pour la protection des Droits de l'homme dans le domaine biomédical, a été ratifié par la France en 2011.

La Convention cadre vise à protéger la dignité et l'identité de tous les êtres humains et à garantir à toute personne, sans discrimination, le respect de son intégrité et de ses autres droits et libertés fondamentales à l'égard des applications de la biologie et de la médecine.

L'article 13 stipule qu'une intervention ayant pour objet de modifier le génome humain ne peut être entreprise que pour des raisons préventives, diagnostiques ou thérapeutiques, et seulement si elle n'a pas pour but d'introduire une modification dans le génome de la descendance.

Dans cette partie nous reviendrons sur le concept de l'uploading (le téléchargement de conscience), de cyborg, ou prothesing humain, avec les prothèses de membres et les implants cérébraux électroniques.

Enfin nous présenterons les robots médicaux et para-médicaux actuellement commercialisés.

---

### 1. Uploading

Le téléchargement de l'esprit (*Mind uploading*) est une technologie hypothétique qui pourrait permettre de transférer un esprit dans un ordinateur. Il y a actuellement deux voies de recherche sur ce sujet.

La première, non invasive, consiste à vouloir créer une Intelligence Artificielle (IA) copie du sujet. C'est une sauvegarde copie « numérisée » de l'individu : le *mindfile*.

La deuxième option repose sur le principe d'un « scan » des structures anatomiques soit par imagerie non invasive soit après extraction et tranchage du cerveau pour en réaliser un clone virtuel. Les structures sont numérisées tranche par tranche à l'aide d'un IRM ou d'un microscope à électrons afin de construire une réplique tridimensionnelle exacte dans un ordinateur qui pourrait alors reconstituer l'esprit par la simulation de son fonctionnement.

Ces deux techniques sont pour l'instant à l'état de projet mais des progrès importants ont été réalisés dans ces deux voies comme nous allons le voir.

#### 1.1 Le Mindfile, la voie de la sauvegarde de la conscience.

Cette technique consiste à créer un clone numérique d'une personne, comme un avatar informatique qui pourrait interagir et répondre avec les attitudes, les valeurs, les connaissances de la personne *mindcloné*.

Cette technique nécessite le téléchargement des images biographiques, des vidéos et des documents dans une archive numérique de la personne. Le but est d'accumuler le plus d'informations possibles sur une personne éventuellement par entretien pour reproduire sa personnalité de manière numérique

### 1.1.1 Conscience Transférée BINA 48

BINA48 (*Breakthrough Intelligence via Neural Architecture 48*) est un androïde social, c'est à dire un robot composé d'un buste et des épaules montés sur un cadre, développé par *Hanson Robotics*.

Image expurgée

La tête comporte un visage qui produit des mouvements, des yeux qui voient via deux caméras, dispose d'un logiciel de reconnaissance faciale, d'un système d'audition via des oreilles qui entendent et un esprit numérique qui permet la conversation.

Ce robot a été développé par *Martine Rothblatt's Terasem Movement, Incorporated* pour tester deux hypothèses concernant la capacité de télécharger la conscience d'une personne dans un corps non biologique :

- Première hypothèse : une empreinte de la conscience d'une personne peut être créée sous forme numérique, appelée « *mindfile* », en recueillant des informations détaillées sur cette personne.
- Deuxième hypothèse cette même empreinte de la conscience d'une personne peut être placée dans un organisme mécanique pour fournir des expériences de vie comparables à celles d'un être humain.

Il s'agit de la première tentative de construire une cyber-conscience identique à celle d'une personne réelle, en l'occurrence celle de *Bina Aspen Rothblatt*, après plus de cent heures d'interview à compiler ses souvenirs, ses sentiments et ses croyances.

## 1.2 La voie du clonage cérébral numérique

L'idée d'une simulation complète d'un cerveau humain est notamment détaillée par *Nick Bostrom*<sup>22</sup> dans son ouvrage *Superintelligence : Paths, Dangers, Strategies* (2005).

Aujourd'hui de nombreux scientifiques en domotique, intelligence artificielle et neuroscience se sont lancés dans la compréhension la conscience.

Selon eux pour simuler le fonctionnement d'un cerveau humain, la puissance calculatoire nécessaire est estimée à un exaflops que l'on pourrait traduire simplement par  $10^{18}$  opérations par seconde. Une machine, comme un super calculateur, offrant une capacité de traitement de

---

<sup>22</sup> Cofondateur d'Humanity+ et directeur de l'Institut pour le futur de l'humanité de l'Université d'Oxford

cet ordre doit pouvoir servir de substrat pour le chargement d'une copie d'un modèle cognitif extrait d'un cerveau humain.

Nous allons voir que la recherche est déjà avancée dans ce domaine avec notamment un fond d'investissement de plus d'un milliard d'euros financé par l'Union Européenne.

La recherche se fait sur les deux étapes du transfert de conscience :

- Première étape, scanner les structures cérébrales comme on ne l'avait encore jamais fait à l'*Institut d'imagerie Biomédicale*,
- Deuxième étape, développer une interface qui transforme les données anatomiques et moléculaires en simulation de cerveau avec l'*Humain Brain Project*.

### *1.2.1 Première étape : scanner les structures cérébrales : l'Institut d'imagerie Biomédicale*

Pour pouvoir simuler le fonctionnement d'un cerveau humain il faut pouvoir en scanner les structures anatomiques et moléculaires.

L'institut d'imagerie Biomédicale l'IBM du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a été créé en 2007 pour développer la recherche sur la méthodologie et la technologie d'imagerie par Résonance Magnétique (IRM) à ultra-haut champ magnétique et par Tomographie par Emission de Positons (TEP), et leurs applications biomédicales dans les domaines des neurosciences, des maladies métaboliques, des maladies cardiaques et du cancer.

Il comprend trois services :

- le *Service Hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ)* qui étudie l'imagerie moléculaire,
- le *NeuroSpin* qui étudie le fonctionnement du cerveau par les techniques d'IRM et de magnéto-encéphalographie
- le *MIRcen* pour la recherche en neurosciences de l'imagerie et des biothérapies.

L'institut comprend également deux laboratoires d'imagerie, le laboratoire de radiochimie de la plateforme *Cycéron* à Caen, et l'unité d'imagerie neurofonctionnelle du CNRS et l'Université de Bordeaux.

#### *1.2.1.1 NeuroSpin*

NeuroSpin est le centre en charge du développement des outils et des modèles qui permettront de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau physiologique et pathologique en

repoussant les limites actuelles de l'imagerie cérébrale, de la souris à l'homme, par l'imagerie par résonance magnétique à très haut champ magnétique et par la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire.

Au sein de Neurospin, l'un des 6 programmes de recherche, *l'Unité d'Imagerie par Résonance magnétique et de Spectroscopie* (UNIRS), développe de nouveaux outils de neuro-imagerie pour cartographier l'anatomie du cerveau et son fonctionnement *in vivo* à des échelles encore jamais atteintes, grâce à l'imagerie par résonance magnétique à très haut champ afin mieux appréhender l'organisation anatomo-fonctionnelle du cerveau humain.

Cette unité dispose de sept IRM dont un préclinique de 17.2T unique au monde et prochainement un IRM clinique de 11.7T qui sera le plus puissant système d'imagerie par résonance magnétique du monde.

*L'Unité de neurosciences cognitive* (Unicog) est une unité mixte de recherche *Inserm-Université Paris Sud et CEA* qui étudie les bases cérébrales des fonctions cognitives physiologiques et pathologiques, en développant et en exploitant les méthodes de neuro-imagerie conjointement à l'utilisation de paradigmes expérimentaux issus de la psychologie cognitive.

Les outils employés sont *l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle* (IRMf) ainsi que la magnéto et l'électroencéphalographie (M/EEG).

#### *1.2.1.2 MIRCen, Molecular Imaging Research Center*

Les plateformes du CRC MIRCen sont dédiées à l'exploration et la validation de concepts, ainsi qu'à l'évaluation préclinique de nouvelles stratégies thérapeutiques géniques, cellulaires ou médicamenteuses, principalement dans le domaine des maladies neurodégénératives.

#### *1.2.2 Deuxième étape : développer une interface qui transforme les données anatomiques et moléculaires en simulation de cerveau : l'Humain Brain Project*

Ce projet scientifique a pour objectif de simuler dans un supercalculateur le fonctionnement du cerveau humain avant les 10 prochaines années.

C'est l'un des deux projets soutenus par l'Union Européenne (EU) grâce à un financement d'un milliard d'euros dans le cadre du *FET Flagships* (Initiative majeure des technologies émergentes).

L'*Humain Brain Project* (HBP) est un regroupement de 90 instituts de recherches européens coordonné par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et codirigé par l'Université de Heidelberg, le Centre Hospitalier universitaire vaudois et l'Université de Lausanne.

Le projet vise à créer une interface entre l'information génétique, les réactions moléculaires, la biologie et les mécanismes de la pensée pour :

- Mieux comprendre le cerveau et ses mécanismes de base
- Permettre à un des supercalculateurs d'assembler ces données au sein d'un modèle et d'effectuer des simulations du cerveau humain. Ce cerveau virtuel pourrait permettre de tester des modèles informatiques de pathologie et de développer de nouvelles thérapies.

L'équipe a annoncé avoir réussi à reproduire informatiquement une colonne corticale de rat et son activité neurale en 2008(67) dans le cadre du projet *Blue Brain*, sans que ce résultat ait donné lieu à une publication dans une revue à comité de lecture.

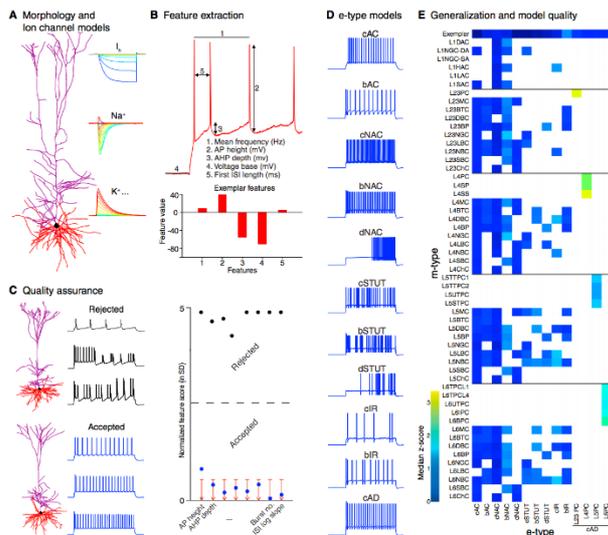
En mai 2015, les ingénieurs du HBP ont montré les premières simulations en vue de la réalisation d'une "souris virtuelle" en plaçant un modèle informatique simplifié du cerveau d'une souris dans un corps virtuel soumis à des stimulations.

#### 1.2.2.1 *Blue Brain*

Dans le cadre du *Blue Brain Project* de l'EPFL, les chercheurs sont parvenus, en 2008 à modéliser une colonne corticale de 10.000 neurones virtuels connectés entre eux par 30 millions de synapses et quelques kilomètres de fibres.

En octobre 2015, la même équipe a rendu public dans la revue *Cell* un article intitulé *Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry* (68) décrivant la première reconstruction numérique du *Microcircuitry* du cortex somatosensoriel du rat juvénile.

La reconstruction algorithmique utilise des fonctions cellulaires et synaptiques comme principes organisationnels pour reconstruire l'anatomie et la physiologie.



Un volume néo-cortical de  $0,29 \pm 0,01$  mm<sup>3</sup> contenant 31.000 neurones et des études de patch-clamp 55 couches morphologiques forment 8 millions de connexions avec 37 millions de synapses. La simulation réussit à reproduire des résultats expérimentaux obtenus *in vivo* et *in vitro* sans calibrage préalable du modèle.

L'étude montre également que le cortex numérique présente d'intéressantes propriétés de traitement de l'information inattendues.

Ces résultats ont été possibles grâce au super ordinateur de l'EPFL qui a été développé par IBM : le *Blue Gene* qui dispose d'une puissance de 478 téraflops avec 212.992 Processeurs.

Cette réussite n'est que la première étape sur un long chemin pour pouvoir envisager de modéliser l'ensemble d'un cortex cérébral humain.

Cependant en mars 2016 Human Brain Project a mis en route ses plates-formes collaboratives : au total, six plates-formes de recherche ont été créées. La plate-forme de neuro-informatique doit permettre l'enregistrement et l'analyse de données en neurosciences.

Une autre plate-forme est dédiée à la reconstruction et à la simulation du cerveau. Une troisième est capable de traiter de grands volumes de données. Pour faire fonctionner ces structures collaboratives, des super ordinateurs dans toute l'Europe ont été mis en réseau.

## 2. Cyborg

Un organisme cybernétique ou un cyborg est un être humain qui a reçu des greffes de parties mécaniques. Le système mécanique peut être un dispositif électronique cérébral profond implanté ou bien un membre mécanique. Il peut suppléer une fonction naturellement et normalement présente chez l'humain mais absente chez le patient concerné.

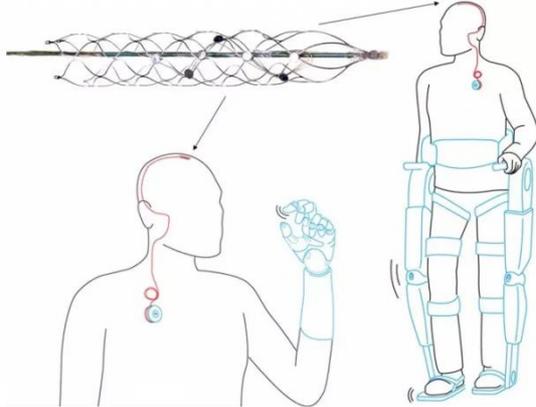
Les dispositifs cyborg peuvent également créer une fonction nouvelle chez un individu sain.

Il existe trois grandes catégories de prothèses :

- Les prothèses motrices et mécaniques,
- Les prothèses sensorielles où sensibles

- Les implants cérébraux.

Il y a deux grandes voies du « cybording », l'utilisation médicale de prothèses de réparation dans le domaine du handicap, opposée à la prothétisation(69) d'un individu normal, ce qui nous fait entrer dans le domaine spécifique de l'*human enhancement* : augmenter les capacités ou modifier le corps d'une personne à des fins esthétiques ou de performance mentale et/ou physique.



## 2.1 Prothesing

Le prothesing consiste en une greffe de parties mécaniques externes comme un membre mécanique, un exosquelette ou une prothèse d'organe comme par exemple un pancréas artificiel.

### 2.1.1 Prothesing de remplacement de membre

Aujourd'hui le développement de membre bionique chez des amputés est connu de tous. Une société comme *TouchBionics* est en mesure de proposer des prothèses de main avec 5 doigts motorisés et articulés entièrement indépendants, une rotation manuelle du pouce dans l'axe (pince pouce index notamment). La prothèse est connectée par des électrodes avec des sites musculaires choisis. Les mouvements sont repérés et reproduit par mimétisme musculaire.

Par exemple la contraction du biceps ferme le poing, celle du triceps l'ouvre. Leurs contractions sont mesurées par les électrodes qui envoient à la prothèse une série de signaux électriques, lesquels activent les moteurs placés dans la prothèse.

### 2.1.2 Exosquelette.

L'implant *Stentrode*, conçu par le Département des neurosciences de L'Université de Melbourne en Australie est un implant cérébral développé pour rendre aux patients paralysés le contrôle de leurs mouvements.



Illustration 13 Prothèse de main Bebionic

Le Stentrode est assimilable à une colonne vertébrale bionique introduite par voie endovasculaire qui reroute les signaux cérébraux vers la prothèse (*exosquelette*).

Les résultats publiés dans la revue *Nature Biotechnology*(70)en février 2016 font état d'essais concluants chez les animaux.

*Illustration 14 Implant Stentrode*

En 2017, un groupe de volontaires sélectionnés au *Royal Melbourne Hospital* et *l'Austin Hospital* testera le dispositif., l'objectif étant qu'ils parviennent, grâce à cette interface cerveau-machine, à contrôler un exosquelette par la volonté.

Cependant, l'utilisation d'exosquelette pour des patients tétraplégiques pourrait être obsolète avant d'exister et être réservé à la manutention ou à l'usage militaire et donc à l'*human enhancing*.

En effet comme nous le verrons plus tard avec les électrodes cérébrales, des singes initialement paralysés sont parvenus à retrouver la capacité de marcher grâce à des électrodes implantées dans le cerveau et dans la colonne vertébrale. Les signaux électriques transmis ont permis de franchir le point de rupture axonale et ont restauré la fonction motrice dans les jambes des primates de manière instantanée(71). Publié dans la revue *Nature* en novembre 2016 (EPFL, CNRS, Université de Bordeaux)

## Des primates retrouvent le contrôle d'un membre paralysé

Des primates non-humains retrouvent le contrôle d'un membre paralysé. Une interface neuro-prothétique fait office de pont sans fil entre le cerveau et la moelle épinière, contournant entièrement la lésion.

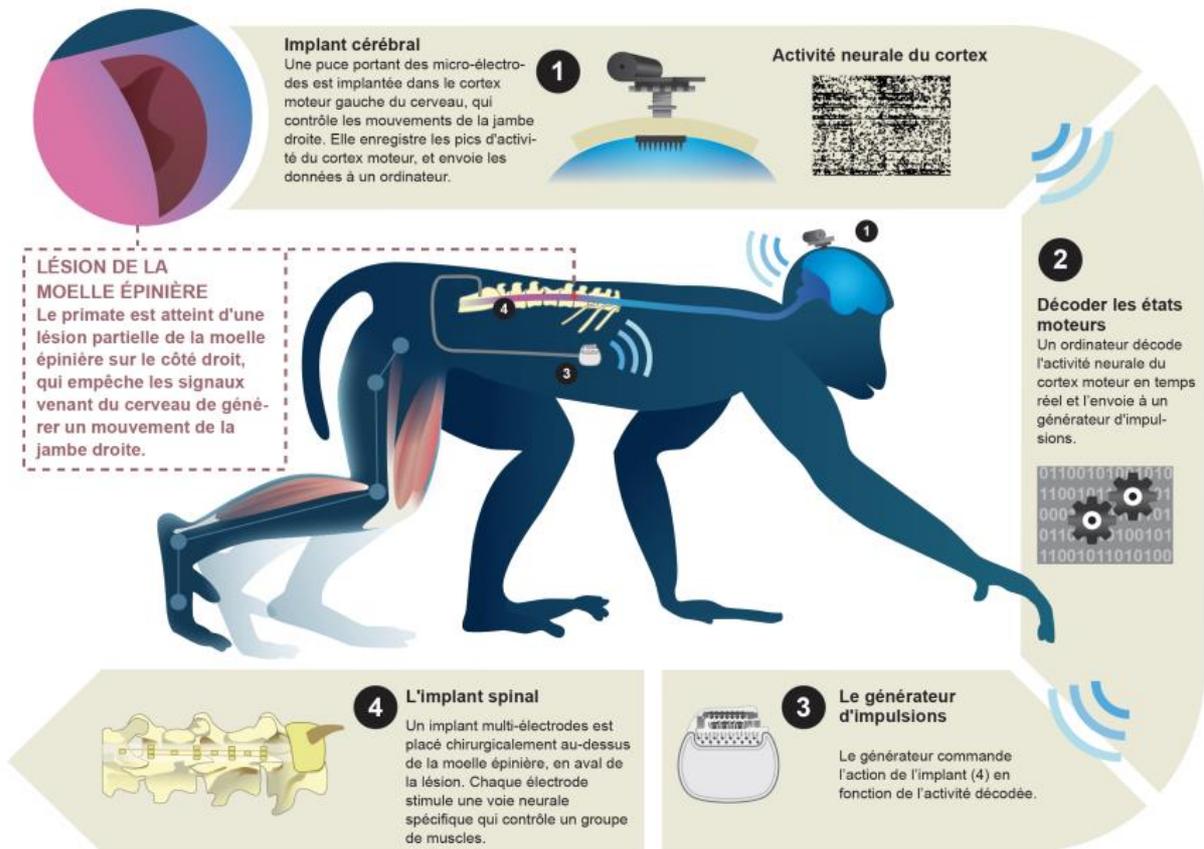


Illustration 15 publication de novembre 2016, *Nature*, a brain spine interface alleviating gait deficits after spinal cord injury in primates

### 2.1.3 Prothèse d'organe

#### 2.1.3.1 Cœur artificiel

Le 18 décembre 2013, le premier bicœur complet et autonome CARMAT a été implanté à l'hôpital Georges Pompidou par le *Pr Duveau* et le *Pr Latrémouille* à un patient insuffisant cardiaque terminal NYHA4.

Le patient est décédé 74 jours après l'implantation.

En 1968, *Barnard Washansky*, premier greffé cardiaque d'Europe avait survécu 18 jours.

En 2016 il y a eu en tout 4 implantations CARMAT avec un maximum de survie de 8 mois et 10 jours après l'intervention chirurgicale.

Une seconde phase d'essai clinique, l'étude PIVOT, avec implantation de 25 greffes a été lancée en août 2016(72).

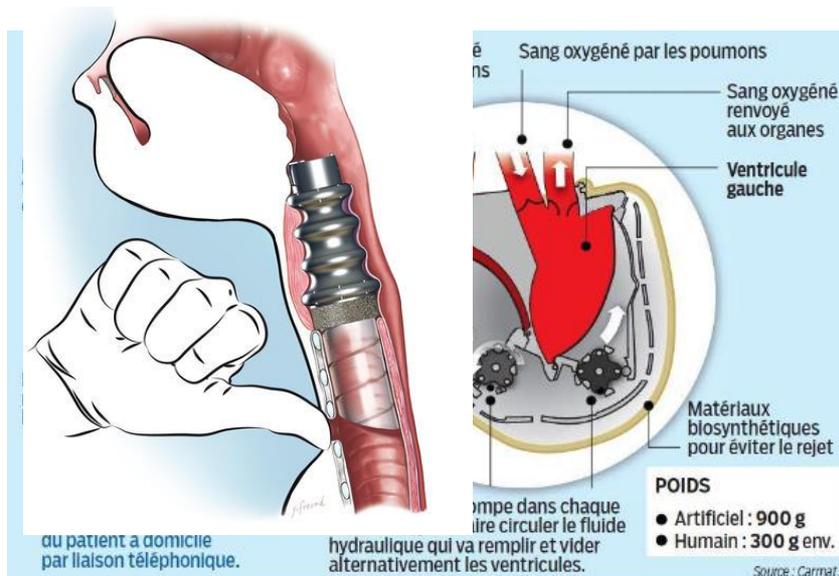


Illustration 16 schéma cœur CARMAT

cette 5<sup>ème</sup> greffe, et donc la première de cette phase I est décédé 1 mois et demi après son implantation.

A la demande de l'ANSM, CARMAT a suspendu l'essai clinique suite à la survenue de ce décès.

Dans son communiqué de presse du 30 novembre 2016, la société CARMAT déclarait ne pouvoir affirmer que les analyses réalisées n'ont pu montrer d'implication de la prothèse dans le décès du patient.

La prothèse, implantée dans la cage thoracique, dispose de deux ventricules artificiels, un système électronique embarqué disposant d'un microprocesseur, sept capteurs, une prise d'alimentation et un sac interne. Elle alterne des phases de diastole et de systole dans l'aspiration et éjection, et est actionnée par un système hydraulique de motopompes miniaturisées. L'adaptation du rythme cardiaque se fait par 7 capteurs reliés au microprocesseur. Le système repose sur 2 batteries en lithium d'une autonomie de 6 heures.

### 2.1.3.2 Larynx artificiel

En novembre 2012, le Pr Debry du service d'ORL du CHU de Strasbourg a implanté la première prothèse de larynx mondiale PROTiP sur un homme de 65 ans atteint d'un cancer des cellules squameuses (T4, Carcinome épidermoïde du sinus pyriforme).

Cette prothèse est composée d'une partie en titane et silicone rigide qui remplace le larynx, et une partie en titane amovible qui reproduit la fonction de l'épiglotte. L'opération est réalisée en deux temps, d'abord l'ablation du larynx du patient et implantation d'une bague trachéale en

Elle devait procéder à l'évaluation de la survie à 6 mois et collecter des aspects plus qualitatifs d'efficacité, permettre de collecter des données précises sur l'amélioration fonctionnelle, la réhabilitation des organes, la qualité de vie, le confort du patient.

A ce jour, le patient de

titane puis dans un second temps, à distance de 4 mois selon la cicatrisation, pose du larynx artificiel par voie endoscopique, c'est à dire avec un dispositif amovible constitué de valves. L'objectif est de redonner les fonctions naturelles du larynx au patient trachéotomisé : la respiration, la déglutition, la parole. (1.600 personnes sont laryngectomisées chaque année en France)(73).

*Illustration 17 schéma larynx artificiel*

En Janvier 2017 un homme de 56 ans qui avait subi une laryngectomie totale et une lymphadénectomie cervicale bilatérale a reçu une prothèse trachéale permanente avec un capuchon fermé temporaire. Le patient a pu recevoir une alimentation orale à 3 semaines et a ensuite reçu une radiothérapie planifiée.

Quatre mois après la phase 1, en phase 2 de la procédure, le capuchon temporaire a été enlevé et remplacé par un bouchon amovible de ventilation ouverte, le patient a pu parler à un murmure intelligible, avec un score de 28 sur l'indice Handicap de voix (sur une échelle de 0 à 120, avec des scores plus élevés indiquant une déficience plus grave). Le patient a continué à utiliser une canule de trachéotomie fenêtrée, bien qu'il ait pu la fermer pendant 6 heures ou plus par jour pour respirer par les voies aériennes supérieures sans dyspnée ni aspiration symptomatique de la salive.

Après 16 mois de suivi, il n'a pas été observé de sténose ni d'anastomose de la trachée-prothèse, l'appareil n'interfère pas avec la radiothérapie planifiée et la canule de la trachéotomie pourrait être fermée à volonté(74).

PROTiP médical développe également le NewBreez, un dispositif intralaryngien implantable pour protéger les voies aériennes et limite les fausse-routes des patients, suite à un AVC ou une maladie neurodégénérative.

Il protège en permanence la trachée des fluides et des matériaux tout en permettant une respiration normale.

En octobre 2016 ce dispositif a été implanté sur un patient souffrant d'un carcinome laryngé infiltrant traité par laryngectomie partielle et radio-chimiothérapie.

Les tests de déglutition après implantation ont démontré une amélioration significative de la déglutition de protection et de récupération des voies respiratoires, permettant au patient de retourner chez lui avec la reprise d'un régime alimentaire solide et liquide(75).

## 2.2 Impression d'organe

### 2.2.1 *Biotissus tridimensionnelle Organovo*

La société Organovo conçoit et crée des tissus humains tridimensionnels fonctionnels pour l'utilisation dans la recherche médicale.

Le processus de bioproduction se fait après l'identification des principaux éléments architecturaux et de compositionnels d'un tissu cible et après le développement de blocs de construction multicellulaires, les bio-encre à partir des cellules qui seront utilisées pour construire le tissu cible. Des composants d'hydrogel bio-inertes sont utilisés comme supports pour atteindre la tridimensionnalité, ou pour créer des canaux ou des espaces vides dans les tissus pour imiter les caractéristiques du tissu natif.

Le processus peut produire des tissus dans une variété de formats, à partir de micro-échelle des tissus contenus dans des plaques de culture ou à de plus grandes échelles.

En novembre 2014, Organovo a commercialisé l'exVive3D Human Liver Tissue(76).

Il s'agissait d'imprimer sur des épaisseurs de plus de 500 microns, des cellules souches, des fibroblastes et des cellules endothéliales pour réaliser un tissu hépatique fonctionnel pour effectuer des recherches en toxicologie hépatique notamment dans les essais précliniques. Les tissus imprimés contiennent une architecture précise et reproductible qui peut rester entièrement fonctionnelle et stable jusqu'à 28 jours, et peuvent être utilisés dans l'évaluation de l'exposition aux médicaments pour les études aiguës (de 3 à 5 jours) et chroniques sur la toxicité et le métabolisme.

Les tissus du foie humain *ExVive* restent entièrement fonctionnels et stables pendant plus de 28 jours.

Les études sont composées à la fois de paramètres analytiques et histologiques comme les critères d'évaluation toxicologique rédictifs standards (LDH, l'ATP et l'albumine), le profil d'expression génétique et protéique, et l'évaluation des histologique des tissus.

L'*ExVive Human Kidney Tissue*(77) est un tissu bio-imprimé 3D entièrement humain constitué d'une couche apicale de cellules épithéliales rénales, des tubules proximaux soutenue par une interface tubulo-interstitiale riche en collagène de type IV, en fibroblastes et de cellules endothéliales. Ces tissus sont conçus pour modéliser la biologie et l'architecture natives d'une manière hautement reproductible pour une préservation optimale de la fonction cellulaire et de l'activité du transporteur. Les cellules épithéliales forment des jonctions serrées et maintiennent une activité gamma glutamyl-transférase stable et une expression native du transporteur rénal pendant plusieurs semaines en culture. La structure cellulaire et architecturale des tissus rénaux

humains ExVive constitue un moyen idéal pour étudier la néphrotoxicité biochimique et histologique.

## 2.3 Les implants Cérébraux

Les implants cérébraux ou *BrainChips* sont des dispositifs électroniques externe ou interne dont l'objectif est de lire ou de contrôler certains signaux cérébraux. Ils sont généralement alimentés par une batterie rechargeable par des inductions électromagnétiques externes.

### 2.3.1 *Le Stimoceiver de José Delgado le précurseur en recherche des Brain-Computer Interface*

Dans les années 1970, le neurophysiologiste *José Delgado* chercheur à de l'Université de Yale (US) a affirmé qu'il pourrait amener des individus à ressentir des émotions, comme la relaxation ou l'anxiété, à l'aide d'implants, baptisé *Stimoceivers*.

Son étude sur le contrôle de la motricité du singe lui a permis diverses actions : faire ouvrir et fermer les yeux, modifier le diamètre pupillaire, faire tourner la tête, bouger la langue et les lèvres, provoquer un grognement.

En 1963, il parvint à stopper l'élan d'un taureau en stimulant son noyau caudé par un stimoceiver dont il contrôlait à distance le déclenchement grâce à un transmetteur radio.

En 2002 l'expérience fut reproduite par l'équipe de *John Chapin*, de l'Hôpital Brooklyn, Université de New York, qui publie dans la revue *Nature* avoir réussi à contrôler les déplacements de rats grâce à trois électrodes implantées dans leur cerveau et commandées à distance par des ondes radio(78).

L'expérimentation sur l'humain, avec des signaux électriques « supérieurs » à la volonté ont permis de faire plier le doigt à un individu(79).

Selon José Delgado :

- La stimulation du système limbique d'un singe provoque de la peur, de la très forte nervosité, de la convoitise, de l'hilarité,
- La stimulation de la région limbique appelée septum provoque de l'euphorie, dans certains cas suffisamment forts pour contrer une dépression ou une douleur physique exprimée par un humain.
- la stimulation de l'amygdale et de l'hippocampe chez un humain peut provoquer des sensations agréables, de l'exaltation, un état de réflexion, de la concentration, et des phénomènes hallucinatoires.

L'utilisation d'implants cérébraux chez des rats avec auto-commande dans le cerveau limbique et plus spécifiquement sur le noyau accumbens a permis la découverte de circuits de récompense et de plaisir : en effet les rats se sont montrés plus motivés à appuyer sur le bouton provoquant la stimulation, qu'à s'alimenter(80).

### 2.3.2 *Projet Cyborg : Kevin Warwick*

Kevin Warwick, professeur de cybernétique à l'*Université de Coventry* (Royaume Uni), membre du *Nuffield Council on Bioethics* Groupe de travail sur les nouvelles neurotechnologies a dirigé l'équipe de l'Université de Reading dans un certain nombre de projets de la Communauté Européenne tels qu'ETHICBOTS et RoboLaw qui ont examiné les aspects éthiques des robots et des cyborgs.

C'est un précurseur de l'étude des interfaces directes entre les systèmes informatiques et le système nerveux humain,

Il affirme que de nombreuses limitations humaines, comme la sensorialité, peuvent être surpassées par les machines, et il affirme vouloir acquérir ces capacités ce qui le classe dans la catégorie des Transhumaniste.

Associé au *Dr Tipu* et son équipe à l'hôpital John Radcliffe (Oxford), et au *Dr Stein* de l'Université d'Oxford, Warwick travaille à concevoir la prochaine génération de stimulation cérébrale profonde pour la maladie de Parkinson.

Le 24 août 1998, *Warwick* s'est fait implanter sous la peau un simple émetteur de radio-identification, qui était utilisé pour contrôler les portes, les lumières, les appareils électronique. L'objectif était d'identifier les limites de ce que le corps accepterait et combien il serait facile de recevoir un signal significatif du microprocesseur

La deuxième étape du Projet Cyborg consistait en l'implantation d'une interface neuronale complexe connectée au nerf médian du membre supérieur de Warwick. Le signal produit a été suffisamment détaillé pour prendre le contrôle à distance d'un bras robotique développé par le *Dr Peter Kyberd* en imitant les actions du bras de Warwick(78).

### 2.3.3 *Les interface Neuronale Directe*

Une *interface neuronale directe* (IND) est un dispositif d'interaction entre un système nerveux central et un dispositif microprocesseur.

Cette liaison ne requiert aucune transformation préalable du signal électrique émis par l'activité cérébrale.

La plasticité cérébrale permet que l'influx nerveux produit par ces neuro-prothèses puisse, après un temps d'adaptation, être traité comme un influx cérébral physiologique(82).

*Matthew Nagle* ancien joueur de football US, devenu tétraplégique au niveau C4 en 2001, fut le premier humain à utiliser une *interface neuronale directe* pour restaurer des fonctionnalités déficientes.

En 2005 une interface de 96 électrodes *Braingate* fut implantée dans la région du gyrus précentral droit.

Grâce à cet implant, il fut capable de contrôler un curseur de souris, allumer et éteindre la télévision, changer de chaîne télévisée, jouer à des jeux vidéo, lire ses e-mails ainsi que de contrôler un bras robotisé.

Aujourd'hui la recherche dans le domaine s'attache au développement d'une interface utilisant des électrodes de surface plutôt qu'implantées dans le cerveau.

L'implant Cochléaire qui appaareil environ 220.000 personnes dans le monde, est l'exemple le plus concret de neuro-prothèse dont le but est de rétablir une ouïe déficiente pour un cout estimé à environ 45.000 euro en France. Ce sont des dispositifs médicaux et à ce titre leur Evaluation est assuré par l'Agence National de Sécurité du Médicament : ANSM.

*Neil Harbisson*, né avec une achromatopsie, devient la première personne au monde à porter un *eyeborg*(83).

Il s'agit d'une caméra positionnée au-dessus de la tête du patient montée sur perche directement implanté dans le cortex cérébral qui permet au patient d'entendre les couleurs avec un spectre de 320 son-couleurs. Il se considère comme un *Transartiste*.

*Illustration18 : Photo de Neil Harbisson et de son eyeborg*

#### 2.3.4 Interface cerveau-cerveau

Une interface cerveau-cerveau ou *Brain-to-brain interface* (BTBI) a permis un transfert en temps réel d'information sensitivomotrice et une adaptation de comportement significatif entre les cerveaux de deux rats.

Image expurgée

Un groupe de rats A situé au Brésil, isolé dans une cage, a été entraîné à résoudre un problème simple : choisir entre deux leviers pour obtenir de l'eau en guise de récompense.

Le bon choix réponse est signalé par une diode qui s'allume au-dessus du levier qui délivre l'eau.

Ce groupe A a été implanté d'un système « encodeur » dans la région du cortex contrôlant l'information liée au mouvement.

Cette impulsion électrique encodée était transmise en temps réel au même dispositif implanté en zone corticale du groupe de rats B « décodeur » situé aux USA.

Le groupe B ne disposait d'aucun indice visuel pour savoir sur lequel des deux leviers appuyer pour obtenir la récompense eau.

Un résultat positif était l'utilisation du bon levier par le groupe de rat B de manière à obtenir la récompense.

Cette liaison cérébrale a permis d'obtenir un résultats positif de 64.32+/-1.1%; 60 – 72%: P , 0.05 et a été publié dans la revue britannique *Nature Scientific Reports*(84).

En cas d'erreur du rat du groupe B, le rat du groupe A modifiait les signaux qu'il émettait pour les rendre plus intense initiant ainsi un phénomène de *feedback*.

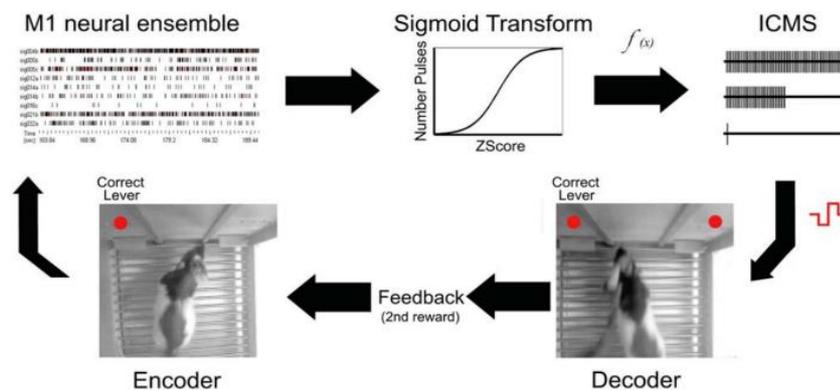


Illustration 19 Retrocontrôle sur interface cerveau-cerveau

### 2.3.5 Interfaces cerveau-ordinateur affectives (aBCI)

Jose M. Carmena professeur d'ingénierie électrique et de neurosciences à l'Université de Californie-Berkeley et co-directeur du Centre d'ingénierie neurale et de prothèses à UC Berkeley et UCSF dirige un programme de recherche en génie neuronal et en neurosciences des systèmes qui vise à comprendre les bases neuronales de l'apprentissage, le contrôle sensorimoteurs et à construire la base scientifique et technique qui permettra la création de systèmes neuro-prothétiques fiables pour les personnes gravement handicapées.

Il a notamment travaillé sur l'utilisation d'implant cérébraux sur les singes Macaques pour qu'ils déplacent le curseur sur un écran et pour qu'ils manipulent des bras mécaniques.

Jose M.Carmena est le directeur du projet interfaces cerveau-ordinateur affectives (aBCI) du *Defense Advanced Research Projects Agency* de l'armée américaine qui travaille avec le Massachusetts General Hôpital et de l'Université de Californie, San Francisco, pour créer des implants cérébraux électriques capables de traiter les maladies neuropsychiatriques, addiction, épisodes dépressifs majeurs, troubles de la personnalité et les troubles de bipolarité.

Selon *Carmena* les pensées et les actions peuvent être modifiées par des impulsions électriques d'intensité précise dans une région définitive du cerveau.

On pourrait par exemple « couper » un craving en « interceptant » le stimuli neuro-électrique avec la prochaine génération de stimulateurs cérébraux psychiatriques.

Dans le Syndrome post Traumatique l'anxiété est générée par complexe *amygdalien* et pourrait être inhibée par les signaux émis par le cortex préfrontal ventromédian.

---

### **3. Domotique dans les systèmes de santé**

Dans le cadre du transhumanisme nous avons souhaité revenir succinctement sur la « domotisation » des hôpitaux et des actes médicaux, chirurgicaux et paramédicaux. Ce processus subit une démocratisation lente du fait notamment de son coût mais pourrait dans le futur modifier les pratiques de santé. Le Japon est un précurseur dans la domotique ce qui s'explique par une population vieillissante et un refus de l'immigration.

### 3.1 Robots Paramédicaux

#### 3.1.1 VascuLogic

Les robots Paramédicaux sont conçus pour être en mesure d'effectuer des tâches répétitives : vérification des « scoop », toilette au lit du patient, prélèvement sanguin.

La National Science Foundation a financé par le programme *Small Business Innovation Research*, la société VascuLogic, qui développe un système d'autonomisation de prélèvement ponctions veineux par acquisition d'image infrarouge et ultrason. VenousPro© peut fournir des informations biologiques dans les minutes qui suivent le prélèvement sanguin en intégrant l'analyse d'échantillons avec le prélèvement sanguin automatisé.

Vasculogic développe également le Systeme VenousMobile© : se compose d'un périphérique miniaturisé qui se connecte avec n'importe quel appareil mobile Android ou iOS pour aider les praticiens à effectuer une ponction veineuse guidée par image qui est actuellement en cours d'étude.

Le système d'imagerie utilise des réseaux de lumière infrarouge miniaturisés pour améliorer le contraste des veines, permettant une visualisation améliorée des segmentations veineuses et un suivi des veines et des aiguilles en temps réel.

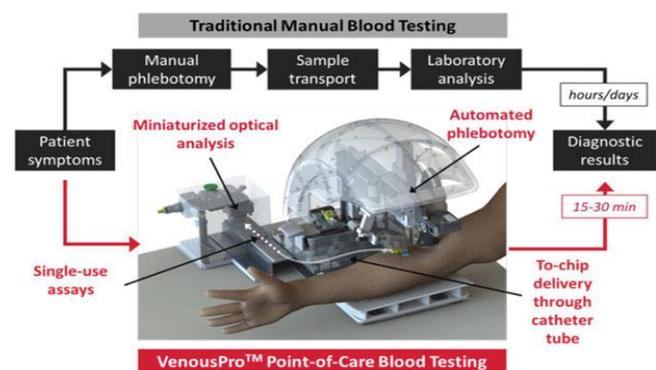


Illustration 20 VenousPro de Vasculogic

#### 3.1.2 ROBEAR

Le robot *ROBEAR* développé par le *Centre de collaboration RIKEN-SRK* pour la recherche sur les robots interactifs à Nagoya, est un robot de 140 kilogrammes capable d'agripper sans peine un patient, de le soulever, le mettre au fauteuil, ou au lit. Il dispose de capteurs permettant au robot de réaliser des tâches telles que la levée des patients, sans les mettre en danger. Le robot peut aussi faire office de pèse-personne.

Il s'agit d'un « super lève malade » dont l'objectif est de décharger les infirmières et les aides-soignants des tâches physiquement trop pénibles.

Ce dispositif ne disposant pas à ce jour d'intelligence artificielle, ses actions sont en réalité relativement sommaires et nécessitent pour le moment l'assistance permanente d'un soignant.

### 3.2 Système de livraison HOSPI-R.



Panasonic Solutions Systèmes Asie Pacifique (PSSAP) développe le Robots assistants HOSPI-R mettent en œuvre une technologie pour optimiser l'efficacité opérationnelle d'un hôpital et améliorer sa productivité.

C'est un système automatisé de livraison qui peut transporter jusqu'à 20 kg de produits, documents et instruments, qui fonctionne 24h/24 et 7j/7.

En 2014, l'hôpital du *Mémorial de Matsuhita d'Osaka* qui utilisait 5

HOSPI-R a vu ses délais de livraison diminués de 30%.

Illustration 21 Photo du robot HOSPI-R

### 3.3 L'aide opératoire : Da Vinci

Ce robot, distribué et produit par *Intuitive Surgical*, qui coûte environ 2 millions d'euros, est un aide opératoire munit de 3 ou 4 bras manipulateurs dont l'un est une caméra endoscopique qui retransmet en direct la vue en 3 dimensions haute résolution avec restitution du relief et des perspectives, et les autres sont des instruments chirurgicaux possédant sept degrés de liberté contrôlés par le chirurgien à distance par des manettes.

La Food and Drug Administration a autorisé la mise sur la marche US en 2001 du *Da Vinci* pour les chirurgies « classiques » abdominopelvienne (Cholécystectomie, prostatectomie, cure d'ovaire,).

Image expurgée

La première opération robot assistée a eu lieu en France en 2000, par l'équipe du professeur Abbou, de l'hôpital *Henri-Mondor*, qui a réalisé la première prostatectomie à l'aide d'un robot *Da Vinci*.

Illustration 22 Photo du *Da Vinci* opératoire (console et bras)

Le nombre d'installations de robots *Da Vinci* a connu une importante progression ces dernières années.

En octobre 2013, 80 robots étaient en service en France pour 3000 unités dans le reste du monde. Selon le Bilan de l'enquête concernant les robots chirurgicaux *Da Vinci* de la société *Intuitive Surgical* par la *Direction des Dispositifs Médicaux de Diagnostic et des Plateaux*

*Technique de l'ANSM.* 79 % des interventions avec le robot chirurgical Da Vinci sont réalisées en urologie.

62 % des établissements de santé l'utilisent également en chirurgie gynécologique.

Selon les Centres Hospitaliers, les interventions réalisées avec le *Da Vinci* sont plus chères de 2.000 euros et sont généralement plus longues de 25 à 30%

Exemple d'utilisation expérimentale du Da Vinci : en 2010, le CHU de Nancy utilisait déjà le *Da Vinci* pour réaliser les prélèvements de rein permettant une iatrogénie atténuée avec une cicatrisation plus rapide, une douleur post-opératoire atténuée, et d'obtenir un greffon de grande qualité.

Les Dr *Sallusto.F* et *Doumerc.N* ont réalisés le 9 juillet 2015 au CHU de Toulouse la première Néphrectomie puis transplantation rénale au monde sur donneur vivant par voie robot-assistée avec extraction et introduction du greffon par voie vaginale.

### **3.4 Sedasys : Système Personnalisé de Sédation assisté par ordinateur**

L'entreprise de dispositif médical Johnson & Johnson avait obtenu en 2013 de la FDA l'AMM pour ce robot de sédation pour les anesthésies générales. Ce dispositif divise par dix le prix des anesthésies classiques. Cependant l'*American Society of Anesthesiologists des Etat Unis* avait obtenu que Sedasys soit utilisable uniquement pour les interventions d'endoscopie oeso-gastro-intestinale.

Devant l'absence de demande l'entreprise *Johnson & Johnson* a finalement retiré le robot-anesthésiste de la vente

### **3.5 Domotique dans le système de santé et opinion publique**

Une enquête d'opinion intitulée « *Trut in technologie* »<sup>(85)</sup> réalisée par la banque HSBC montre que les technologies de la reconnaissance d'empreintes digitales et des robots conseils possèdent un énorme potentiel dans l'avenir de la banque. Cette étude réalisée sur un échantillon de 12 000 individus, dans 11 pays, révèle que 80% des personnes pensent que la technologie facilite leur vie. Parmi de nombreux items relatifs au monde de la banque qui sont hors de propos ici, l'étude révèle également que 14% des sondés seraient prêt à faire confiance à un robot pour réaliser une chirurgie cardiaque. À titre de comparaison 21 % feraient confiance à un robot pour donner des conseils hypothécaire et 20 % pour ouvrir un parachute.

# Science Cognitive et Intelligence Artificielle

## 1. Puissance de Calcul informatique

En informatique on utilise comme unité de mesure relative à la puissance le FLOP (*opération en virgule flottante par seconde*). C'est l'unité de mesure de la vitesse d'un système informatique, c'est-à-dire de la puissance réelle de calcul. Une puissance d'un Exaflop ( $10^{18}$ ) revient à dire qu'un ordinateur serait capable d'effectuer un milliard de milliards d'opérations par seconde.

Aujourd'hui, il existe deux voies dans le développement des puissances informatiques :

- La voie classique, celle des calculateurs hautes performances dont les performances sont limitées par les contraintes physiques des matériaux régie par la loi de Moore
- La voie « nouvelle » (même si ces principes datent de 1990), des calculatrices quantiques, qui n'ont absolument rien de commun avec un ordinateur classique.

Comme l'IRM n'a pas remplacé le TDM, mais l'a complété, ces deux voies évoluent en parallèle et ont toutes deux des applications qui pourraient révolutionner la médecine.

### 1.1 Les Calculateurs Haute Performance

Le 20 juin 2016, le *calculateur haute performance* (HPC) chinois sunWay Taihulight du National Supercomputing Center in Wuxi avec ses 93 pétaflops/s (c'est-à-dire 93 millions de milliards d'opérations par seconde) et ses 10,65 millions de cœurs avait obtenu la première place du classement, actualisé tous les 6 mois, du TOP500 des ordinateurs les plus puissants au monde.

Il est important de noter que ce record supplante un autre supercalculateur chinois le *Tia,he-2* qui avait obtenu la première place en 2013, avec une puissance de 33 pétaFLOPS, ce qui veut dire que la puissance informatique a été multipliée par un rapport de 3 en seulement 3 ans

Cependant, la puissance de calcul de Sunway TaihuLight reste 150 fois inférieure à celle du réseau de minage utilisé par le système de crypto-monnaie Bitcoin qui totalisait en juin 2016 une puissance de 18.000 exaFLOPS par la mise en réseau d'un très grand nombre d'ordinateurs, qui ne sont pas des calculatrices hautes performances.

L'usage du terme de FLOPS est controversé pour ce procédé qui n'en faisait pas un supercalculateur, et il faut y voir une mesure de puissance équivalente.

En France dans son Communiqué de Presse du 29 mars 2016, Total annoncé que la puissance de calcul de *Pangea*, son supercalculateur, venait de passer de 2,3 Pétaflops à 6,7 Pétaflops soit l'équivalent de plus de 80.000 ordinateurs portables et sa capacité de stockage a été portée à 26 Pétaoctets soit l'équivalent de 6 millions de DVD(86).

D'après *Total Exploration Production* cette évolution fait de *Pangea*, le premier calculateur de l'Industrie et le place dans le top 10 des ordinateurs les plus puissants au monde et le numéro un français.

Il est à noter qu'en novembre 2016 un seul supercalculateur européen était dans le Top 10 : le *Piz Daint* du Swiss National Supercomputing Center (CSCS) avec 9.7 pétaflops/s.

Même si la puissance d'une machine a son importance il ne faut pas oublier les problématiques de la conduction et de la supraconduction. Une partie de la puissance est perdue dans la communication entre les processeurs. En effet un processeur passe 90 % du temps à attendre l'information d'un autre processeur. Une augmentation des puissances doit donc se faire également sur le développement de technologie de communication et de supraconduction inter-processorielle.

Selon loi de Moore, la « puissance informatique » double tous les 18 mois, cependant cette croissance exponentielle reste bornée par les lois de la physique et les contraintes des matériaux, et cela s'applique évidemment aussi aux supercalculateurs haute performance qui ne sont « que » des super ordinateurs classiques.

L'ordinateur quantique lui n'est pas borné par les mêmes principes et les mêmes lois, comme nous allons le voir

## **1.2 Ordinateur Quantique**

### *1.2.1 Principe*

Un calculateur quantique utilise les propriétés quantiques de la matière.

À la différence d'un ordinateur classique basé sur des transistors qui travaillent sur des données binaires, le calculateur quantique travaille sur des qubits dont l'état quantique peut posséder plusieurs valeurs.

La mémoire d'un ordinateur classique est faite de bits, un bit est dans un état binaire, soit 1 soit 0.

Le qubit dispose d'une infinité de distribution de phase d'angle entre la valeur 0 angle à 90° et la valeur 1 angle de 0° degré et la superposition d'états dans les proportions du  $\sin^2$  et du  $\cos^2$  de la phase de l'angle.

Les qubits a contrario des bits se superposent, permettant à la puissance de calcul quantique de doubler à chaque addition de qubit

Un ordinateur classique de 2 bits peut prendre 4 valeurs (0-0 ; 0-1 ; 1-0 ; 1-1), l'ordinateur quantique peut prendre simultanément l'ensemble de ces valeurs et donc avec « n » qubits, un ordinateur quantique peut être dans une superposition de  $2^n$  états.

L'*algorithme de Shor*, qui modélise la factorisation des entiers en temps polynomial(87) et qui est utilisé dans un circuit quantique permettrait des calculs à ce jour impossibles à un ordinateur dit classique, comme par exemple de casser n'importe quelle donnée de cryptographie.

A l'inverse l'utilisation d'un ordinateur quantique pour des données pourrait assurer une sécurisation absolue rendant des communications totalement confidentielles selon le théorème de non clonage énoncé en 1982 par *Wootters et Zurek*(88). Ce théorème, à la base de la sécurité des systèmes de distribution de clefs quantiques établit qu'il est impossible de concevoir un cloneur quantique qui puisse cloner de façon parfaite n'importe quel état.

Il a donc des implications technologiques particulièrement importantes(89), par exemple pour la sécurisation absolue des informations médicales de plus en plus sensibles comme le séquençage complet d'un génome.

Pour transposer le raisonnement à une situation simple, un joueur d'échec dispose pour chaque action d'un nombre élevé de possibilités et son but est de les évaluer pour en choisir celle qu'il estime être la plus optimale.

C'est ce que fait un ordinateur quantique à plus grande échelle : on peut imaginer y entrer les 3,2 milliards de paires bases d'un génome humain et lui demander quelle est la couleur des yeux correspondante.

L'algorithme quantique fonctionne avec un nombre géant de variables pour sortir une « réponse » unique, c'est ce pourquoi il est très utilisé en cryptographie et surtout en décryptage.

*Johannes Deiglmayr et Heiner Saßmannshausen* du *Swiss Federal Institute of Technology*(90) ont, dans la revue *Physical Review Letters*, publié avoir réussi à créer des molécules

diatomiques géantes de la taille d'un micromètre (mille fois la taille d'une molécule conventionnelle), ou l'équivalent de la taille d'une grande bactérie.

Ils ont réussi à lier deux atomes de césium (placé en état de *Rydberg*, c'est-à-dire que l'électron externe orbite loin du noyau de l'atome). Ce type d'atome avec un électron externe excité en état quantique pourrait être l'unité « un » d'un ordinateur quantique et devenir un qubit d'une taille raisonnable puisque de l'ordre des micromètres et non des nanomètres.

### 1.2.2 *D-Wave*

La société *D-Wave Systems* annonçait en 2011, le développement de la puce *D-Wave One* premier ordinateur quantique commercial de 128 qubits vendu pour 10 million de dollars à la société d'armement *Lockheed Martin*.

Cinq ans plus tard, le 28 septembre 2016, *D-Wave*, qui se définit elle-même comme la première entreprise de calcul quantique au monde, présentait le *D-Wave 2000-Qubit Quantum System(91)*, son système de calcul quantique le plus avancé, avec un nouveau processeur de 2000 qubits, permettant aux utilisateurs d'utiliser le processus de calcul quantique pour résoudre les problèmes plus rapidement et trouver des solutions plus variées lorsqu'elles existent.

### 1.2.3 *Application Médicale*

#### 1.2.3.1 *Photodynamique thérapeutique*

L'objectif d'une séance de radiothérapie est d'être le plus létale possible sur le volume circonscrit des cellules tumorale et d'avoir le moins possible d'incidence avec les tissus sains. Il faut donc, comme nous le verrons avec la médecine computationnelle et le patient numérique personnalisé, faire des projections volumiques et temporelles du volume tumoral à traiter, mais aussi calculer l'incidence et la dosimétrie des rayonnements.

Ce type de calcul nécessite l'utilisation de logiciels très lourd avec un nombre de variables virtuellement infinies. Les logiciels utilisés à ce jour ne peuvent envisager toutes les possibilités car cela leur prendrait un temps extrêmement considérable pour chaque patient.

Un calculateur quantique est, comme nous l'avons vu, performant pour analyser un très grand nombre de variables et en sortir une réponse unique : dans ce cas il établirait la séance de radiothérapie optimale en un temps de l'ordre de la seconde quand les calculs prendraient des mois à un ordinateur classique.

Le *Pr Shafirstein* est directeur de la recherche clinique en thérapie photodynamique (PDT) du département d'oncologie et de biologie cellulaire du *Roswell Park Cancer Institute*.

Son équipe travaille en partenariat avec D-Wave pour générer l'utilisation et l'amélioration de la thérapie photo-dynamique en oncologie en développant des systèmes de planification de dosimétrie curative en temps réel.

Le *Roswell Park Cancer Institute* utilise les fonctions quantiques de D-Wave pour produire des essais cliniques visant à améliorer la qualité de vie et la survie des patients atteints de cancer de la tête et du cou en utilisant la thérapie photo-dynamique guidée par l'image.

La PDT est une technique innovante et prometteuse qui se généralise en oncologie pour les tumeurs accessibles à la lumière directe ou par voie endoscopique. C'est une alternative ou un complément des techniques classiques de traitement en oncologie médicale. Elle utilise les propriétés combinées d'un agent photo-sensibilisant absorbé par les cellules tumorales, qui n'est pas toxique en tant que tel mais qui, soumis à une source lumineuse, produit des réactifs cytotoxiques qui entraînent une apoptose. Cette technique présente l'avantage d'être sélective, en effet ni la lumière ni l'agent photosensibilisant seuls ne sont nocifs, et en optimisant la concentration du photo-sensibilisateur et la dose de lumière, il est possible de détruire sélectivement des cellules cancéreuses.

Connu en pratique courante en dermatologie pour les kératoses actiniques, l'application tend à se multiplier pour le cancer de la prostate, les cancers superficiels de l'œsophage, le glioblastome, le mésothéliome.

De plus les études précliniques sur les modèles animaliers retrouvent des effets pro-inflammatoires capables d'induire une réponse immunitaire anti-tumorale sur les tissus traités.

### *1.2.3.2 Structure des protéines*

Les protéines qui sont constituées d'acide aminé dont la succession est déterminée par la séquence d'ADN ont une fonction qui est déterminée à la fois par la composition mais aussi par leurs structures tridimensionnelles.

Une « malformation » protéinaire peut-être responsable de pathologie.

La modélisation a priori des molécules de protéine est un travail complexe en raison du nombre extrêmement élevé de possibilités. Un ordinateur quantique pourrait être capable de simuler rapidement des modèles fiables de modélisation protéique en 3D ce qui ouvrirai la voie à l'élaboration de nouvelle thérapeutique et d'améliorer la compréhension de certaines pathologies comme la maladie d'Alzheimer, la maladie d'Huntington et la maladie de Parkinson.

Actuellement *D-Wave* travaille avec le département santé de l'Université de Harvard au développement d'algorithme de simulation des modèles de repliement 3D des protéines.

Une étude de l'université de Harvard publié dans *Nature* a montré que la D-Wave One pourrait prédire les configurations d'énergie la plus basse d'une protéine repliée. L'ordinateur a utilisé le recuit quantique pour trouver la configuration de la protéine la plus faible énergiquement en résolvant la configuration comme un problème d'optimisation, où l'état optimal était l'état d'énergie la plus basse.

Le modèle consistait en des représentations mathématiques d'acides aminés dans un réseau, reliées par des forces d'interaction différentes. L'ordinateur D-Wave a trouvé les configurations les plus basses d'acides aminés et d'interactions, ce qui correspond au repliement le plus économique des protéines en treillis(92). Trouver les structures tridimensionnelles à faible énergie est un problème insoluble même dans le modèle le plus simple. Cela ouvre la voie à l'étude des problèmes d'optimisation en biophysique et en mécanique statistique à l'aide de dispositifs quantiques.

---

## 2. Intelligence Artificielle.

### 2.1 Du Deep Learning et réseau neuronal convolutif

#### 2.1.1 *Deep Learning et réseaux neuronaux en couches*

Le Deep Learning est une technique d'apprentissage permettant à un programme d'apprendre à raisonner de lui-même. Il utilise l'apprentissage supervisé, une technique courante en intelligence artificielle (IA), permettant aux machines d'apprendre, mais avec une architecture interne de la machine différente : un réseau neuronal en couche comme dans le cortex humain.

Pour expliquer de manière simple la révolution en matière de programmation d'IA on peut évoquer le passage du machine Learning au deeplearning.

Avec le Machine learning par exemple, pour amener un programme à différencier une moto d'une voiture, il faut lui inculquer des milliers de photos de voitures et de motos en lui spécifiant chaque fois le type de véhicule montré.

Ce système, long et laborieux, conduira ensuite le logiciel à comparer sans généraliser pour répondre à la question « *moto ou voiture ?* »

Avec le Deeplearning l'enregistrement d'une seule photo de *moto et de voiture*, conduira le programme, de lui-même à trouver des différences : par exemple *une moto* à deux roues, *une voiture* en a quatre.

Le programme va raisonner seul et établir une généralité, il sera capable seul de reconnaître une voiture d'une moto par extrapolation.

Le but est notamment de développer une IA capable de comprendre le contenu des textes, photos et vidéos publiés par les internautes.

L'espoir est que plus on augmente le nombre de couches, plus les réseaux de neurones apprennent des choses compliquées, abstraites, qui correspondent plus à la manière dont un humain raisonne.

Le 26 juin 2012, le laboratoire *Google X* publiait ses recherches sur les réseaux neuronaux à neuf couches composées de mille machines pour seize mille cœurs et un milliard de connexions, qui par l'utilisation du *deeplearning* détecte sans classement préalable les visages sur des images issues de vidéos *YouTube* choisies aléatoirement. Le réseau a fonctionné pendant trois jours pour analyser les données issues de dix millions d'images (en format 200 × 200 pixels) Il en a extrait des concepts déterminés sans caractéristiques initiales à rechercher, et notamment « l'idée » de visage de chat, ou de silhouettes humaines(93).

À partir de ces données, le réseau parvient à reconnaître vingt mille catégories d'objets avec un taux de précision de 15,8 % (soit une amélioration de 70 % par rapport à ce qui se faisait de mieux dans le domaine auparavant)(94).

Ces méthodes pourront être dans le futur généralisées à des processus de lecture d'images assistés ou effectués par algorithme comme des images issues de scanner ou IRM de patient, en effet la capacité des réseaux neuronaux à résonner sur des images et à généraliser des interprétations en fait des candidats idéaux pour la lecture d'image en médecine notamment.

### 2.1.2 Réseau neuronal convolutif.

Le *neurone formel* est une représentation mathématique et informatique d'un neurone biologique, c'est l'unité élémentaire des réseaux de neurones artificiels.

Un *réseau de neurones à convolution* (CNN) est un type de réseau de neurones artificiels, dans lequel le motif de connexion entre les *neurones formels* est inspiré par l'architecture neuronale du cortex visuel des animaux complexes. Les neurones de cette région du cerveau sont arrangés de sorte à ce qu'ils correspondent à des régions qui se chevauchent lors du pavage du champ visuel.

Les réseaux neuronaux convolutifs ont de larges applications dans la reconnaissance d'image et vidéo, les systèmes de recommandation et le traitement du langage naturel.

Un exemple d'application est le programme de vision par ordinateur google *DeepDream* qui est entraîné à reconnaître et renforcer des structures dans les images pour mieux les reproduire par algorithme : il donne des résultats aux allures fantasmagoriques ou hallucinatoires.

Un exemple de vision d'une tache de Rorschach « analysée » par *DeepDream*. (Il est noté que *DeepDream* s'est surtout entraîné à partir de vidéos d'animaux et donc projette régulièrement des chimères animales)

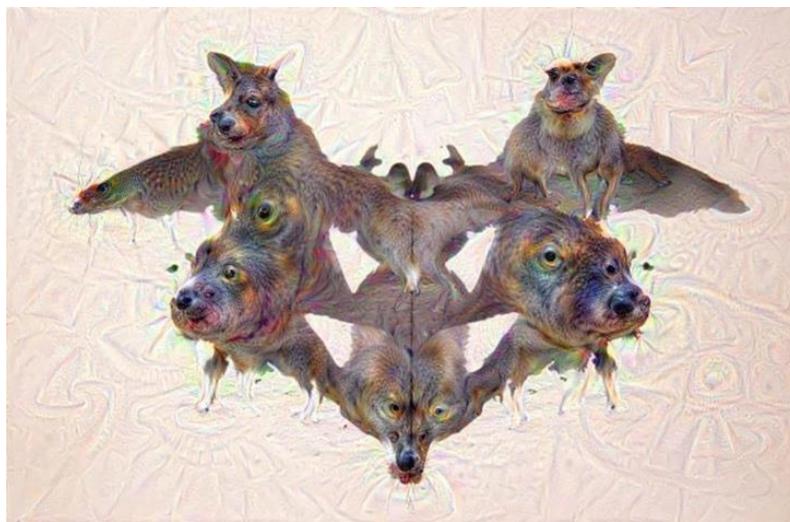


Illustration 23 : DeepDream et le test de Rorschach

## 2.2 DeepLearning la cryptographie structure du langage

*Google Brain*, a programmé trois réseaux neuronaux convolutifs : *Alice*, *Eve* et *Bob*.

*Alice* devait envoyer un message à *Bob* qui devait le déchiffrer alors qu'*Eve* était pour sa part programmée pour intercepter et décrypter cette conversation.

Les deux IA sont arrivées à communiquer avec très peu d'erreurs de cryptage/décryptage après 7500 tentatives de communication. Lorsque *Eve* parvenait à déchiffrer le message, les deux autres IA amélioraient leurs techniques de cryptographie rendent le décryptage d'*Eve* impossible après 15.000 tentatives.

Cette expérience montre bien que les IA ont élaboré un processus cryptographie, et donc un langage sans qu'il ait été programmé à priori.

---

### 3. L'algorithme et la mécanisation des professions intellectuelles

Après l'étape de la mécanisation des professions manuelles, qui est aujourd'hui omniprésent dans l'industrie moderne (chaîne de montage mécanique), la deuxième étape consiste à la mécanisation des professions intellectuelles.

#### 3.1 Le recrutement prédictif : un exemple de mécanisation des professions intellectuelles

Le *big data* est la capacité par des algorithmes super puissants à traiter un grand nombre de données et surtout à trouver des corrélations entre elles.

Par exemple une entreprise enregistrant beaucoup de démissions pourrait, grâce à l'analyse de *big data* (dernière promotion des partants, dernière augmentation, niveau de salaire, place dans la hiérarchie, ancienneté, résultats...), détecter le profil des salariés qui risquent eux-aussi de démissionner

Une étude dirigée par *Google* avait révélé que 99,4% du temps consacré à un entretien de recrutement, en moyenne, est utilisé pour tenter de confirmer la première impression, souvent fausse, que se fait le recruteur(95).

Selon un rapport du *Chartered Institute of Personnel and Development* (CIPD) 77 % des directeurs des ressources Humaine ne disposent pas des outils nécessaires pour évaluer l'impact du potentiel des salariés de leur entreprise sur ses résultats financiers(96).

Une analyse effectuée par la *Harvard Business Review* (HBR) de 17 études montre qu'un algorithme de recrutement de postulants surpasse les décisions des DRH d'au moins 25 % sur l'évaluation de candidats. Les critères de jugement étaient les notes des superviseurs, le nombre de promotion et les capacités d'apprentissage. L'effet tient dans toute situation avec un grand nombre de candidats, indépendamment du fait que le travailleur recruté est dans le secteur primaire, secondaire ou tertiaire(97).

C'est un exemple pour lequel un algorithme peut faire aussi bien voire mieux un travail non manuel que l'humain, sur des critères objectifs.

Les questionnements du futur seront de déterminer jusqu'à quel point un algorithme peut intellectualiser des processus de réflexion comme l'élaboration d'un diagnostic médicale.

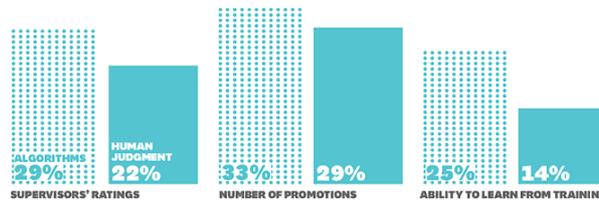


Illustration 24 : Les barres ci-dessous montrent les pourcentages d'employés supérieurs à la moyenne engagés par le biais des systèmes algorithmiques contre le jugement humain. (Evaluations positives des superviseurs, Nombre de promotion, Capacité d'apprendre des formations)

### 3.2 IBM et la Techno-Médecine : l'algorithme et la pratique clinique

La société IBM<sup>23</sup> a injecté depuis une décennie 6 milliards de dollars US, dans le *projet Watson* qui emploie à plein temps 3 000 chercheurs dans 9 centres dont 1 français. 5 896 brevets plus tard, *Watson* représente une véritable innovation dans la compréhension par la machine du langage naturel, utilisé par les humains pour communiquer et échanger. Il est capable d'assimiler les concepts d'ironie et de jeux de mots. Cette technologie cognitive est capable de générer des hypothèses basées sur des données probantes et l'apprentissage par l'expérience.

En février 2011, *Watson* a battu les 2 supers gagnants du jeu télévisé de divertissement américain *Jeopardy* (un programme reconnu pour ses questions complexes pleines de pièges, qui utilise les nuances du langage naturel, y compris des jeux de mots, des synonymes et des homonymes). *Watson* ne disposait pas de connexion Internet durant l'émission, il n'utilisait que les connaissances amassées durant des années d'interaction et d'apprentissage à partir d'un grand ensemble de connaissances non structurées.

*Watson* a comparé en 3 secondes les réponses possibles en les classant selon le degré de confiance qu'il accordait à leur précision.

*Watson* est actuellement utilisé dans 14 centres Médicaux Américain notamment le *Memorial Sloan-Kettering Cancer Center*, l'*University of North Carolina (UNC) Lineberger Comprehensive Cancer Center in Chapel Hill*. Il est capable de traiter plus de 200 millions de pages de dossiers et des publications scientifiques en quelques secondes(98).

Le robot *Watson* a également l'aptitude d'analyser toutes les informations du dossier médical du patient et de proposer une liste d'exams complémentaire afin d'affiner son diagnostic. Il est pour l'instant qualifié d'instrument d'aide à la décision mais il a les compétences pour diagnostiquer et proposer des traitements(99).

<sup>23</sup> *International Business Machines Corporation*, développeur du programme *Deep Blue* le super-ordinateur spécialisé dans le jeu d'échecs

Watson et particulièrement utile en oncologie où l'intégration des concepts d'efficacité, bénéfique / risque, l'utilisation des données particulières du patient, ses caractéristiques génétiques et les mutations tumorales lui permet de faire des propositions de ligne de chimiothérapie et de plan personnel de soin.

1.800 patients atteints de cancer ont été randomisés dans une étude afin d'évaluer les compétences médicales de *Watson*. Un conseil d'expert se réunit chaque semaine pour examiner les mutations trouvées dans les tumeurs des patients et proposer des traitements ciblés qui étaient comparés aux propositions de *Watson*.

Actuellement, *Watson* n'est pas aussi efficace que le conseil d'expert pour choisir les lignes de traitements, les algorithmes ont besoin d'être affinés et d'expérience pour évoluer (100), cependant le projet reste très prometteur.

*Illumina*, la principale société de séquençage génétique avec plus de 90 % du marché des séquenceurs dont nous avons déjà parlé, s'est associée à la société *IBM Health* pour l'algorithme de *Watson* afin de standardiser et simplifier l'interprétation des données génomiques des tumeurs séquencées.

Les profils génétiques tumoraux séquencés par *Illumina* sont assimilés par *Watson* qui compare ces données avec les connaissances des recommandations de bonne pratique, des nouvelles études de la littérature médicale et des essais cliniques en cours.

L'objectif à long terme est de réduire le temps consacré à l'interprétation des résultats et d'obtenir des réponses thérapeutiques personnalisées au profil génomique, mais issues d'un ensemble très vaste de données médicales. C'est un exemple, d'application simple de synergie entre l'AI, la génomique et la biotechnologie dont les retombées pourraient être très prometteuses.

---

## 4. Modèle génératif et imagerie computationnelle

### 4.1 Principe : le patient numérique personnalisé

Dans sa Leçon inaugurale au collège de France du 10 avril 2014, *Nicholas Ayache*(101) revient sur l'imagerie médicale computationnelle qui a pour objectif de concevoir et développer des logiciels de traitement informatique des images médicales pour en extraire des informations cliniquement pertinentes.

Ce procédé vise à assister la pratique thérapeutique avec des algorithmes de planification et de simulation appliqués à un modèle numérique du patient.

Les images volumiques produites par le scanner, l'IRM, l'échographie, ou la scintigraphie sont très volumineuses, pouvant contenir entre quelques millions et plusieurs centaines de millions de voxels. De plus elles sont souvent visualisées uniquement sous la forme de coupes 2-D.

Il est alors quasiment impossible de quantifier précisément le volume d'une tumeur, de détecter une anomalie isolée dans un organe entier et suivre son évolution subtile entre deux examens, ou de quantifier dans une série temporelle d'images le mouvement d'un organe dynamique comme le cœur.

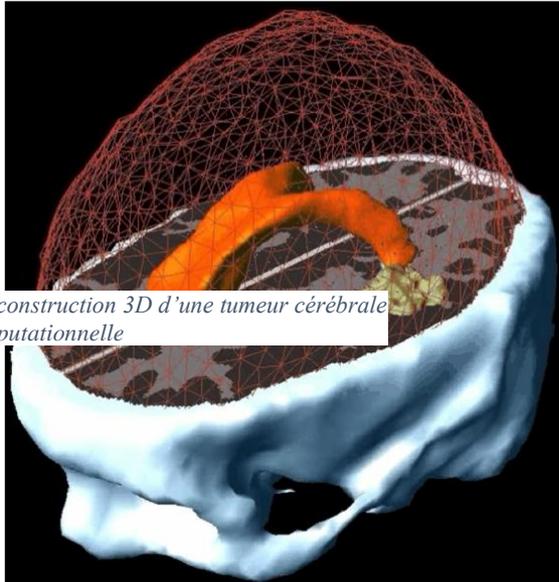


Illustration 25 Reconstruction 3D d'une tumeur cérébrale par imagerie computationnelle

L'informatique et les sciences numériques sont essentielles pour l'analyse des images reconstruites dont le but est d'extraire de façon objective l'information cliniquement pertinente et de la présenter dans un cadre unifié. Cette analyse, par des algorithmes spécifiques, de l'anatomie et de la physiologie humaine de l'ensemble des données numériques d'un patient est à l'origine de l'établissement *du patient numérique personnalisé(102)*

Les modèles numériques et personnalisés du patient sont destinés à assister le médecin dans sa pratique médicale : assister le diagnostic en quantifiant l'information présente dans les images, assister le pronostic en simulant l'évolution d'une pathologie, assister la thérapie en planifiant, simulant et contrôlant une intervention.

#### 4.2 Microscope informatique pour quantifier l'atrophie cérébral

L'analyse algorithmique de coupes de TDM cérébraux est en cours de recherche pour quantifier de manière statiquement pertinente l'atrophie d'hippocampique dans le dépistage de maladie neurodégénérative ou pour évaluer l'efficacité d'une stratégie thérapeutique.

Ces échelles d'atrophie ne sont pas détectables « à l'œil nu » sur les coupes TDM/IRM par un radiologue. L'algorithme se comporte au regard de ces images comme une sorte de microscope informatique.

Grace à deux images de Tumeur cérébrale acquises par IRM, l'imagerie computationnelle peut quantifier l'évolution, extrapoler l'infiltration et prédire l'évolution. En s'appuyant sur les modèles de vascularisation, ce modèle peut différencier, par transition statistique, les cellules prolifératives de périphérie et le central nécrotique. Ces données peuvent être couplées avec un

modèle de radiothérapie pour minimiser le nombre de cellules tumorales survivantes après une séance de radiothérapie.

Bien évidemment ce type de modèle nécessite un stockage d'énormément de données et une grande capacité de calcul.

#### 4.3 Endomicroscopie

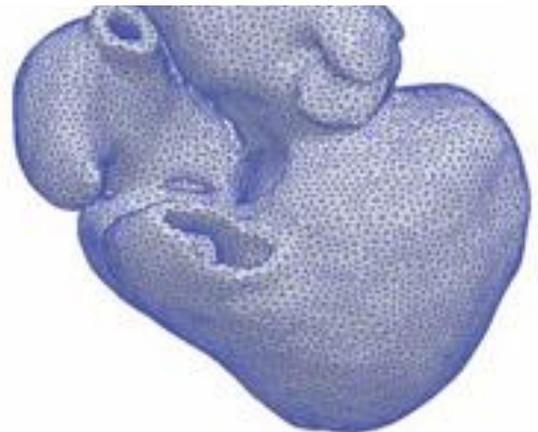
Ce dispositif est un toron de fibre optique inséré dans le canal d'un endoscope pour avoir une vision de l'architecture cellulaire. C'est en fait une biopsie optique (sans prélèvement, donc non invasive), ce qui permet par exemple de faire la différence entre un épithélium pathologique et sain dans une muqueuse œsophagienne sans faire de lésion avec des risques de saignement. Les images (photo et vidéo) acquises par cet endomicroscopie peuvent être comparées à un atlas intelligent (algorithmique) d'image de tissus pathologiques ou sains similaires pour guider l'opérateur au diagnostic.

#### 4.4 Modèle prédictif en cardiologie

L'Institut Hospitalo-Universitaire de Bordeaux, utilise l'imagerie computationnelle personnalisée de l'activité cardiaque qui permet de modéliser l'anatomie cardiaque d'un patient en mouvement et d'y superposer l'activité de dépolarisation-repolarisation tout en visualisant la contraction musculaire.

On pourrait ainsi par exemple prédire les effets d'une resynchronisation par stimulation biventriculaire, dont actuellement 30% des implantations sont sans succès. On pourrait aussi prédire le bénéfice de la pose d'un stent pour optimiser le choix de son implantation.

Illustration 26 *Modèle virtuel de simulation cardiaque*



**Quatrième Partie : Sénescence  
négligeable : définition et perspectives**

## Sénescence négligeable

### 1. Définition de l'espérance de vie

Selon l'Institut *national de la statistique et des études économiques (INSEE)* l'espérance de vie à la naissance représente la durée de vie moyenne - autrement dit l'âge moyen au décès - d'une génération fictive soumise aux conditions de mortalité de l'année(103).

Plus simplement l'espérance de vie à la naissance est définie comme le nombre moyen d'années qu'un nouveau-né peut vivre.

#### 1.1 Les chiffres de l'espérance de vie en 2016

Selon l'INSEE: *L'espérance de vie à la naissance en France métropolitaine en 2015 est de 79 ans pour les hommes et 85,1 ans pour les femmes* (Annexe 4 : Espérance de vie à divers âges, France Métropolitaine Source : INSEE)

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé qui publiait en mai 2016, *Global Health Observatory (GHO) Data*, en France (qui comptait en 2015, 64 395 000 habitants) les Femmes avaient une espérance de vie à la naissance de 85,4 ans et les Hommes 79,4.

L'espérance de vie globale était de 82,4 ans et l'*espérance de vie en bonne santé* (EdVBS) était de 72,6 ans.

Le pays qui avait en 2016 la plus longue espérance de vie (EDV) était le Japon avec une EDV de 86,8 ans pour les femmes, 80.5 ans pour les Hommes et 83.7 pour les deux sexes. L'EDVSB était de 74.9 ans au Japon.

#### 1.2 Variation de l'EDV

Selon l'Institut National d'Etudes Démographiques (INED), l'espérance de vie a presque doublé au cours du vingtième siècle(104).

Au milieu du 18<sup>ème</sup> siècle, la moitié des enfants mouraient avant l'âge de 10 ans et l'espérance de vie ne dépassait pas 25 ans.

La hausse suit à un rythme lent pendant le 19<sup>ème</sup> siècle, pour atteindre 45 ans en 1900.

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, les progrès sont plus rapides, à l'exception des deux guerres mondiales. Les décès d'enfants deviennent de plus en plus rares : 15 %

des enfants nés en 1900 meurent avant un an, 5 % de ceux nés en 1950 et 0,4 % (3,5 pour mille) de ceux nés en 2015. La hausse de l'espérance de vie se poursuit grâce aux progrès dans la lutte contre les maladies cardio-vasculaires et les cancers.

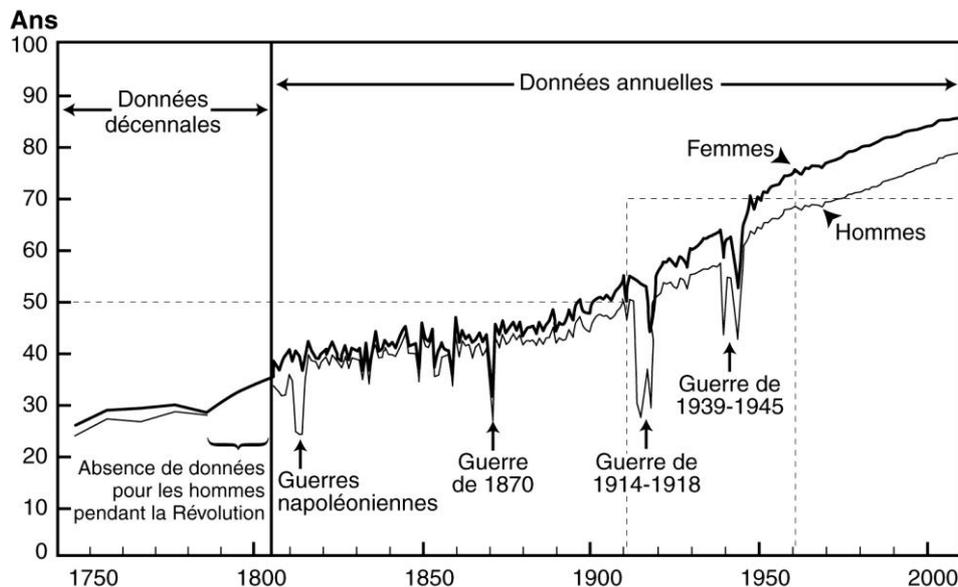


Illustration 27, évolution de l'EDV en France depuis 1750, source institut national d'études démographiques  
 -Avant 1806 : Yves Blayo, 1975, La mortalité en France de 1740 à 1829, Population, vol.30, n°spécial, p.123-143.  
 -1806-1997: Jacques Vallin et France Meslé, 2001, Tables de mortalité françaises pour les XIXe et XXe siècles et projections pour le XXe, Paris, Ined, 120p. + CD-rom (Données statistiques, n°4-2011).  
 -Après 1997: Human mortality database ([www.mortality.org](http://www.mortality.org)).

En France, selon l'INSEE, l'espérance de vie à la naissance a diminué en 2015, de 0,2 an pour les hommes et de 0,3 an pour les Femmes. Cette diminution qui fut très médiatisée n'est pas exceptionnelle puisqu'au cours de la décennie 2006-2016 les femmes avaient subi 3 baisses d'EDV. Cependant c'était la première fois depuis 1969 que cette baisse touché les deux sexes. En 2016 les chiffres provisoires de l'Insee prévoient une EDV de 79,3 ans pour les hommes et 85,4 pour les femmes.

Une fille née en 2016 à une EDV de 85,4 ce qui veut dire qu'elle devrait théoriquement décéder à 85,4 ans soit 3 mois de plus qu'une fille née en 2015, ce qui veut dire qu'en une seule année les filles nées, en 2016 ont gagné 9 mois de vie supplémentaire

### 1.3 Inégalité Homme Femme

En France en cours des 60 dernières années, hommes et femmes ont gagné 14 ans d'espérance de vie en moyenne.

Depuis le milieu des années 1990, les gains obtenus par les femmes sont moins rapides que ceux des hommes et l'écart entre les sexes se resserre : de 8 ans et trois mois, en 1992, il est passé à 6 ans en 2016.

En 2016, l'espérance de vie des hommes est équivalente à celle que les femmes avaient au milieu des années 1980. Au rythme actuel de rapprochement, il faudrait 60 ans pour arriver à l'égalité entre hommes et femmes.

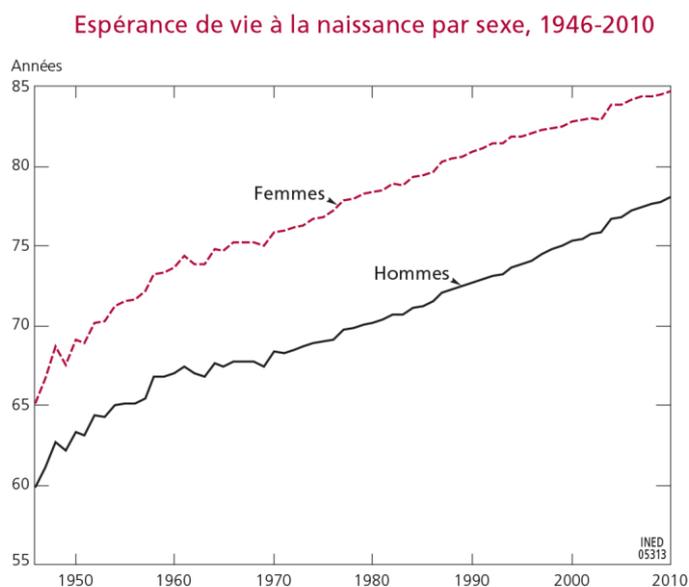


Illustration 28 : Edv en France selon le sexe, source Insee, division des Enquêtes et Etudes Démographique(105).

#### 1.4 Projection de l'Insee

L'Insee établit des projections de population : *le scénario central de projections de population 2013-2070 pour la France* projette qu'en 2070 l'espérance de vie à la naissance atteindrait 93 ans pour les femmes et 90 ans pour les hommes.

#### 1.5 EDVSI

L'ensemble des sociétés développées a vu son EDV augmentée tandis que son EDV en bonne santé, la EVSI (SI pour « sans incapacité ») a diminué.

L'EVSI indique combien de temps on peut espérer vivre sans incapacité. Elle est calculée annuellement pour tous les pays de l'Union européenne depuis 2005.

Ces chiffres sont rendus publics dans le cadre de la première réunion annuelle de l'Action conjointe européenne sur les espérances de vie en bonne santé (EHLEIS pour *European Joint Action on Healthy Life Years*)

En 2009 l'espérance de vie sans incapacité s'établit à 61,3 ans pour les hommes de l'Union européenne (EU27), ce qui représente près de 80% de leur espérance de vie à la naissance (76,7 ans).

L'EVSI a atteint 62 ans pour les femmes, ce qui représente les trois quarts de leur espérance de vie à la naissance (82,6 ans).

Selon EHEIS Release, en France, en 2008 l'EDV des femmes est de 84,8 ans pour une EVSI à 46.1% (64.6ans). En 2010 l'EDV était de 85,3 ans pour une EVSI de 63,5 ans (74,4 %).

Pour les Hommes en 2008 l'EDV était de 77,8, pour une EVSI à 80.6 % (62,7 ans) et en 2010, l'EDV était de 78,2 pour une EVSI à 61,9ans (79,1 %) (cf annexe 5 : *EHEIS pour European Joint Action on Healthy Life Years*)

### **1.6 Facteur influant de l'EDV**

Selon *l'institut de santé publique de Cambridge(106)* l'arrêt du tabac, la consommation modérée d'alcool, l'activité physique régulière et la consommation de 5 fruits et légumes par jours permet un gain d'espérance de vie de 14 années. Ces données sont issues d'études de cohorte et de méta-analyse.

### **1.7 Les limites de l'EDV.**

En octobre 2016 était publié dans *Natures* un article déclarant que l'espérance de vie chez les humains était limitée à 115 ans sur la base de l'analyse de données démographiques collectées partout dans le monde au cours du 20<sup>eme</sup> siècle.

Cette étude a retrouvé que l'âge maximal atteint stagnait au seuil de 115 ans depuis les années 90 et qu'il existait une probabilité inférieure à 1 pour 10.000 de vivre au-delà de 125 ans.

Même si ces résultats ont été critiqué, il se pourrait qu'il y ait une limite physiologique à l'augmentation de l'EDV.

---

## **2. Sénescence négligeable**

Le prolongement de la durée de vie, le ralentissement ou l'inversement du processus de vieillissement est le primo rêve des penseurs transhumanistes.

La sénescence négligeable (c'est à dire l'arrêt du processus de vieillissement physiologique) pourrait être atteinte par le développement d'un des champs de la recherche NBIC mais surtout

par l'utilisation combinée de ses avancées. Si pour quelques-uns il est certain que l'Homme sera un jour immortel il est peu probable que cela se fasse en conservant l'intégrité somatique et psychique actuelles. L'humain non sénéscent ne peut être qu'un post humain qui a accepté de modifier son génome, d'utiliser des bio-prothèses et des organes cybernétiques voire qui a été sauvegardé dans une machine.

---

### 3. Esperance de vie augmentée

Actuellement des recherches donnent déjà des résultats prometteurs sur le modèle animal pour l'augmentation de l'espérance de vie.

L'environnement représente à 70% des facteurs qui influent sur la longévité.

Les études montrent que la restriction alimentaire est l'intervention la plus universelle connue pour prolonger la durée de vie des animaux comme nous allons le voir avec le *nématode Caenorhabditis Elegans*, qui soumis à un régime alimentaire strict, peut vivre 40 % plus longtemps.

Nous reviendrons sur la sénescence cellulaire dont la modification, chez les souris, des régulations par transgène, a permis de prolonger la durée de vie médiane de 24 à 42 %.

Enfin nous reviendront rapidement sur la capacité de rajeunissement des cellules souches, découverte en 2011 et sur les possibilités supposées de la télomérase sur le rajeunissement cellulaire.

L'étude «*Targeting Aging with Metformin* » (TAME) financée par l'*American Federation of Aging Research* souhaite évaluer l'approche pharmacologique pour retarder le vieillissement grâce à la metformine. Un essai clinique randomisé et contrôlé est actuellement en cours chez l'humain.

Si l'étude TAME démontre que la metformine module le vieillissement et ses maladies, au-delà d'un impact isolé sur le diabète, elle ouvrirait la voie au développement de médicaments de la prochaine génération qui visent directement la biologie du vieillissement. Cette étude fait suite à des nombreuses publications qui reviennent sur les effets de la Metformine dans le prolongement de l'espérance de vie chez le modèle animal et sur la diminution de l'incidence de certaines pathologies de la dégénérescence et le cancer chez l'humain(107).

### 3.1 La restriction alimentaire

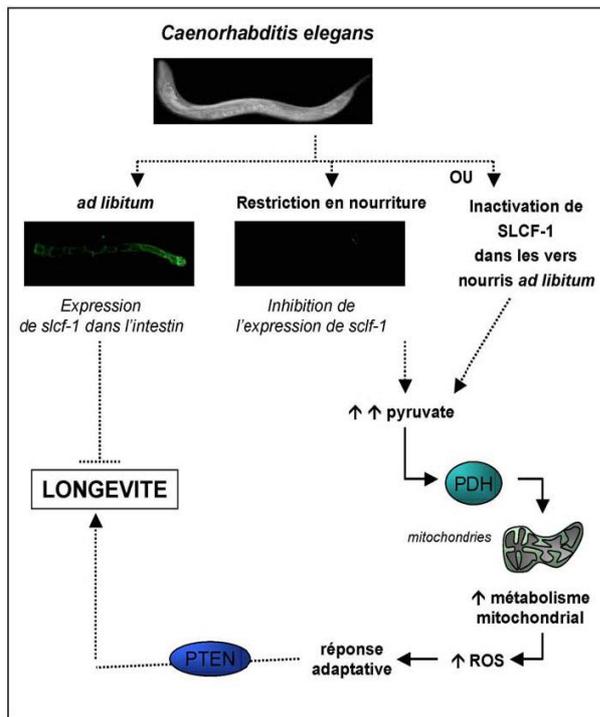


Illustration 29 : Effet de l'activation de PTEN chez le *C.Elegans*.

Selon le communiqué de presse du 28 janvier 2011 du *Centre national de Recherche Scientifique (CNRS)*, les études sur la longévité montrent que parmi les facteurs qui influencent l'espérance de vie d'un individu, 70% d'entre eux seraient liés à son environnement et son mode de vie.

La restriction alimentaire empêche le développement de tumeurs chez les mammifères par l'activation du gène *Phosphatase and TENsin homolog mutated in multiple advanced cancers 1 (PTEN)* impliqué dans le contrôle tumoral.

En effet ce gène participe de la régulation du cycle de division cellulaire en empêchant les cellules de se diviser trop rapidement et de façon incontrôlée.

L'équipe de *Dr Solari.F* et *Dr Billaud.M*, du *Centre de Recherche sur le Cancer de Lyon* a mis en évidence les mécanismes qui permettaient au *nématode Caenorhabditis Elegans* soumis à un régime strict de vivre 40% plus longtemps.

Le régime alimentaire correspondant consiste à réduire l'apport en nourriture sans dénutrition(108).

Ces mêmes mécanismes pourraient également être impliqués dans la protection contre le cancer.

Ce travail est publié dans le numéro de février 2011 de la revue *Aging Cell*.

Ces chercheurs ont isolé, chez *C.elegans*, de nouveaux gérontogènes notamment *slcf-1* dont l'inhibition produit des effets bénéfiques sur la longévité.

Ils ont montré que la limitation de l'apport alimentaire chez *C.elegans* provoque l'inhibition de l'expression du transporteur *SLCF-1* dans les cellules intestinales et déclenche une augmentation du niveau de pyruvate. Celle-ci altère le métabolisme mitochondrial et induit un stress oxydant de faible intensité, responsable d'une réponse adaptative qui entraîne l'augmentation de la durée de vie(109).

Leurs données montrent que l'homéostasie du *pyruvate* joue un rôle central dans le contrôle de la durée de vie chez *C. elegans* et que les effets bénéfiques de la restriction alimentaire résultent d'un mécanisme hormonal impliquant les mitochondries.

L'analyse de la séquence de protéine SLCF-1 prédit que *slcf-1* code pour un transporteur de membrane plasmique appartenant à la famille des transporteurs de *monocarboxylate*.

Ces résultats suggèrent que l'inhibition de cet homologue de transporteur chez les mammifères pourrait également apporter une réponse favorable de la restriction alimentaire sur la durée de vie des mammifères.

Comme nous l'avons vu *Calico*, la filiale biotech d'*Alphabet* et l'*UCSF* a lancé un programme de recherche sur l'*Integrated Stress Response* pour lutter contre le déclin cognitif lié à l'âge et au travail, actuellement sur la transposition aux mammifères de ces mécanismes.

## 3.2 Sénescence cellulaire

### 3.2.1 Définition

La sénescence cellulaire est un état d'arrêt irréversible ou réversible de la croissance des cellules somatiques.

Cet arrêt peut être induit par différents stimuli exogènes (radiations UV, drogues chimiothérapeutiques) ou endogènes (activation des oncogènes Ras, Raf, stress oxydatif).

En fonction des stimuli qui la déclenche, la sénescence peut être répliquative (après un certain nombre de divisions cellulaires) ou accélérée (induite par des lésions sur ADN, activation des oncogènes). Elle représente un programme de protection contre toute capacité de prolifération illimitée et est donc un mécanisme suppresseur des tumeurs, en inhibant la prolifération des cellules qui ont des lésions sur l'ADN.

### 3.2.2 La sénescence cellulaire et espérance de vie

La sénescence cellulaire correspond à un arrêt irréversible de la croissance/division cellulaire induit par le stress, souvent caractérisé par l'expression du gène *p16(Ink4a)*.

C'est un phénomène, qui aurait pour but d'empêcher la prolifération des cellules prénoplasiques, a des rôles bénéfiques dans le remodelage des tissus au cours de l'embryogenèse et la cicatrisation. Les cellules sénescents s'accumulent dans divers tissus et organes au fil du temps et l'on a supposé qu'elles joueraient un rôle dans le vieillissement.

En février 2006, l'Equipe du *Dr van Deursen JM* a publié dans la revue *Nature* leurs recherches sur des souris OGM exprimant le transgène INK-ATTAC, pour induire l'apoptose dans des

cellules exprimant p16 (Ink4a) suite à l'injection du catalyseur AP20187 deux fois par semaine à partir d'une année de vie.

Le traitement AP20187 injecté chez les souris transgènes a prolongé la durée de vie médiane de 24 à 42 % chez les souris mâles et femelles, a retardé la tumorigénèse et atténué la détérioration liée à l'âge de plusieurs organes sans effets secondaires apparents.

Ainsi, les cellules expriment p16(Ink4a) qui s'accumulent dans l'ensemble de l'organisme pendant l'âge adulte influencent négativement la durée de vie et la détérioration de plusieurs organes, et leur élimination thérapeutique peut être une approche attrayante pour prolonger la durée de vie en bonne saine.

### 3.3 Cellule Souche

Comme nous l'avons vu précédemment avec des fibroblastes d'un donneur de 74 ans, il est possible d'inverser le processus du vieillissement par la reprogrammation cellulaire (52) *in vitro*.

En effet comme nous l'avons vu, ces ex-fibroblastes avaient retrouvés leur jeunesse et les caractéristiques des cellules souches.

Les marqueurs de l'âge des cellules avaient été effacés et les iPSC, obtenues pouvaient produire des cellules fonctionnelles de tous types avec une capacité de prolifération et une longévité accrues.

### 3.4 Télomère et Télomase

En 2009 *Elizabeth Blackburn, Carol Greider et Jack Szostak*, ont reçu le prix Nobel de Médecine pour leur travaux la *protection et la stabilité des chromosomes par les télomères et la télomérase*. Les télomères sont les régions distales des chromosomes, constitué d'ADN hautement répétitif, non codant qui à chaque division chromosomique est répliqué par l'*ADN polymerase* mais raccourcit chaque fois un peu plus chez les eucaryotes. L'enzyme *télomérase* a pour rôle de compenser cette perte en ajoutant une structure de nucléotide riche en T et G (TTAGGG) *n* fois afin de « recapitaliser » le télomère amputé dans les cellules germinales (les cellules de la reproduction) sous l'action du gène TERT.

L'inactivité de la *télomérase*, et donc le raccourcissement des télomères au fils des divisions cellulaires dans les cellules somatiques est un autre composant de la senescence cellulaire.

L'action de la *téломérase* est retrouvée de manière pathologique dans les cellules cancéreuses qui conservent des télomères intacts malgré un nombre infini de division c'est un des mécanismes de « l'immortalité » acquise par ces cellules.

La compréhension dans un premier temps et la maîtrise dans un second temps de la *téломérase* est l'une des pistes évoquées par les Transhumaniste pour stopper le vieillissement cellulaire. Bien évidemment de telles manipulations laissent aussi suggérer des perspectives catastrophiques en termes de tumorigénese.

---

#### 4. Espérance de vie et perspective individuelle et collective

##### 4.1 Problématique de la surpopulation

Indubitablement, dès que l'on aborde la question de l'espérance de vie et plus précisément celle de la sénescence négligeable, la problématique de la surpopulation est utilisée comme argument d'autorité.

Cependant comme nous allons le voir l'Association Française de Transhumanisme propose une réponse originale et surprenante. De nombreux commentaires de participants évoquent cette crainte de la surpopulation, de l'épuisement des ressources naturelles ou des craintes écologiques.

*L'Association Française Transhumaniste (AFT) – Technoprog* se réclame du « *Transhumanisme démocratique* » et prône une société Démocratique qui permet des débats démocratiques et l'implication de la société civile dans les décisions qui sont prises en termes d'augmentation humaine. Une Justice et harmonie pour lesquelles il est nécessaire que tout progrès soit équitablement accessible au plus grand nombre et favorise le développement de sociétés plus harmonieuses.

L'orientation de l'*AFT* est de vivre beaucoup plus longtemps en bonne santé, d'augmenter les capacités sensorimotrices et cognitives, d'être plus heureux et plus empathiques, de vivre dans une société durable et de diminuer les risques qui menacent l'humanité.

Sur le site de l'*AFT* on peut trouver la démonstration suivante(110):

Supposons une population initiale de 1.000 personnes avec un taux de fécondité de 2, et l'espérance de vie de 80 ans. Les femmes ont leurs enfants à 20 ans.

**Cas A :** Société en état de sénescence négligeable.

**Cas B :** Taux de fécondité qui passer de 2 à 2,5.

Au bout de 500 ans, la population est de 26.000 dans le cas A, et d'au moins 780.000 dans le cas B : plus de 30 fois le cas A.

Au bout de 1.000 ans, la population est de 51.000 dans le cas A, et d'au moins 206.000.000 dans le cas B : plus de 4.000 fois le cas A

La sénescence négligeable engendre une augmentation de la population *linéaire*. Un taux de fécondité légèrement supérieur à 2, entraîne une augmentation de population *exponentielle*.

Le taux de fécondité correspond au nombre moyen d'enfants par femme dans une population donnée. Lorsqu'il est proche de 2, il en résulte logiquement une population stable.

Si l'espérance de vie était de 1.000 ans, un taux de fécondité très légèrement inférieur à 2 (1,9) est suffisant pour que la population décroisse sur le long terme.

En 2015, 102 pays sur 224 dans le monde ont des taux de fécondité inférieur à 2. Avec un écart de 1,99 pour la Tunisie et 0,81 pour Singapour.(111)

Par cette démonstration il est aujourd'hui possible d'envisager une espérance de vie de 1.000 ans pour chaque individu sur le continent européen (qui à un taux de fécondité en 1,6 en 2016) sans entrainer d'augmentation de la population sur du long terme.

#### **4.2 L'opinion des français : Sondage OpinionWay pour SwissLife**

La société d'assurance et de gestion de patrimoine Swiss Life a commandé en 2016 un sondage à la société OpinionWay sur les perceptions des français sur les enjeux de l'allongement de la durée de vie réalisé par la méthode des quotas auprès de 1 011 personnes représentatives de la population française âgée de 18 ans et plus entre le 26 et le 27 octobre 2016(112).

De ce sondage il ressort que les hommes estiment qu'ils vivront jusqu'à 84 ans, tandis que les femmes, plus prudentes, se voient vivre jusqu'à 82 ans. Pour 60 % des interrogés l'allongement de l'EDV est synonyme d'épanouissement personnel

Près de 6 Français sur 10 interrogés consacreront du temps à leurs proches ou à leurs loisirs.

8% des personnes interrogées déclarent qu'ils continueront à travailler.

**L'allongement de l'espérance de vie soulève de nouveaux enjeux sociétaux pour une population qui vieillit.**

45 % des personnes interrogées jugent que l'espérance de vie va stagner.

37 % des personnes interrogées estiment que l'espérance de vie va continuer à augmenter.

**Un volet du sondage concernait spécifiquement le transhumanisme.**

L'information suivante était proposée aux sondés « *Aujourd'hui on parle en médecine de transhumanisme ou d'homme augmenté, ce qui signifie que les progrès en médecine permettront à l'avenir d'augmenter fortement la longévité des hommes via par exemple des implants rétiniens électroniques pour redonner la vue, des prothèses intelligentes, des organes artificiels etc. Diriez-vous que ce type d'évolution est une bonne ou une mauvaise chose ?* »

Le transhumanisme est considéré comme un développement naturel de la médecine et une bonne chose pour 72 % des Français dont 12% comme une très bonne chose

- 78 % des Français estiment que les progrès en médecine doivent avant tout avoir pour but de soigner les maladies
- 54 % des Français estiment que les progrès en médecine doivent aider à améliorer les capacités physiques et mentales d'une personne en bonne santé
- 15 % des Français estiment que les progrès en médecine doivent aider à limiter les marques du vieillissement
- 8 % des Français estiment que les progrès en médecine doivent aider à repousser les limites de la mort
- 81 % des Français pensent que le transhumanisme peut aider les gens.

**Article de thèse : Etude sur Esperance  
de vie en état de santé optimal souhaité  
par les Médecins Français en 2017**

*« Vous, mon créateur, voudriez me mettre en pièces et triompher ; ne l'oubliez pas, et dites-moi pourquoi je devrais avoir pitié de l'homme plus qu'il n'a pitié de moi ? Vous ne penseriez pas commettre un meurtre, si vous pouviez...détruire mon corps, l'œuvre de vos propres mains. »*

Paroles du monstre de Frankenstein  
Frankenstein ou le Prométhée moderne  
Mary Shelley - 1818

# INTRODUCTION

---

## 4.1 Le transhumanisme

Le transhumanisme est un courant de pensée qui prône l'usage des nanotechnologies, des biotechnologies, de l'intelligence artificielle et les sciences cognitives (NBIC) pour modifier les caractéristiques physiques et cognitives de l'humain(2). Les avancées réalisables en médecine laissent envisager une augmentation exponentielle de l'espérance de vie jusqu'à ce qu'ils nomment la senescence négligeable, ou immortalité réelle.

En 1927, apparut pour la première fois le mot Transhumanisme dans le livre *Religion without Revelation* du biologiste Julian Huxley(2). En 1998, les philosophes Nick Bostrom et David Pearce ont fondé la World Transhumanist Association (WTA) aujourd'hui devenue l'Association Humanity+[...] qui à l'heure [...] actuelle compte plusieurs milliers de membres répartis dans une centaine de pays(2). Les textes fondateurs de l'organisation sont The Transhumanist Declaration (2002) (Annexe N°1) et The Transhumanist FAQ(1). La recherche sur *l'human enhancement*<sup>24</sup> s'appuie notamment sur le document *Converging Technologies for Improving Human Performance*(113), édité en 2002 par le *National Science Foundation*<sup>25</sup> (NSF) sur lequel ont collaboré plus de 60 scientifiques et qui explicite comment l'augmentation des capacités humaines pourrait être obtenue par la synergie des NBIC.

En 2014, un sondage(115) *La Croix et France Télévisions* auprès d'un échantillon représentatif révélait que 58% des français attendaient de la médecine qu'elle améliore les capacités physiques et mentales des personnes en bonne santé. A ce propos 45 % d'entre eux pensaient qu'elle devait aider à « repousser les limites de la mort ». Cependant dans un sondage réalisé pour *Swisslife*(112) en 2016 seulement 37 % des français pensaient que l'espérance de vie aller augmenter tout en considérant à 15 % que l'objectif des progrès de la médecine était d'aider à limiter les marques du vieillissement voire même à 8 % de repousser les limites de la mort. Dans cette même étude les français estimaient que la médecine devait pouvoir améliorer les capacités physiques et mentales d'une personne en bonne santé à 54 % et considéraient à 72 % le transhumanisme comme une « bonne chose ». Une enquête d'opinions réalisée pour *Korian*<sup>26</sup>(114) a montré qu'en 2017, 26 % d'un échantillon représentatif de la population

---

<sup>24</sup> Amélioration humaine

<sup>25</sup> Organisation gouvernementale, équivalent Étasunien du CNRS, en charge du financement de la recherche fondamentale par le biais de subventions accordées à des universités et des centres de recherche.

<sup>26</sup> Entreprise française de gestion de maisons de retraite

générale française estiment qu'il y a une probabilité importante qu'ils vivent jusqu'à 100 ans et 71 % le souhaiteraient à la condition d'être en bonne santé.

Le prolongement de la durée de vie, le ralentissement ou l'inversion du processus de vieillissement est le rêve ultime des penseurs Transhumanistes. La sénescence négligeable pourrait être atteinte par le développement d'un des champs de la recherche NBIC mais surtout par la synergie des NBIC. Si pour quelques-uns il est certain que l'Homme sera un jour immortel, il est peu probable que cela se fasse en conservant l'intégrité somatique et psychique actuelle.

Le Transhumanisme est un courant peu connu dans le domaine médical. Aucune étude n'a déterminé l'espérance de vie en bonne santé ou état de santé optimal que les individus souhaiteraient avoir pour eux-mêmes.

L'intégration de ce courant de pensée dans le monde médical français n'a pas été évaluée. C'est pourquoi nous avons voulu, par une étude observationnelle, d'une part évaluer la pénétrance du Transhumanisme chez les médecins français, et d'autre part l'espérance de vie en état de santé optimal souhaitée par les médecins en 2017.

L'objectif principal premier de cette étude était d'estimer l'espérance de vie en état de santé optimal dans des conditions sociopolitiques similaires à notre époque souhaitée par les médecins français, en 2017.

L'objectif principal second était de réaliser un état des lieux de la pénétrance des concepts Transhumanistes chez les médecins français en 2017 afin d'observer le degré d'acceptabilité des médecins face aux avancées médicales futures.

Les objectifs secondaires étaient la recherche d'une association entre les spécialités médicales, les tranches d'âge, le genre, la croyance en la vie après la mort et les critères de jugements principaux.

# MATERIEL et METHODE

---

## 1. Type d'étude

Étude transversale observationnelle quantitative par questionnaire réalisée auprès des médecins français qui ont bien voulu répondre à notre sondage Internet.

---

## 2. Population

L'étude avait pour population cible les médecins et internes de médecine ou de chirurgie, ainsi que les médecins chercheurs.

La population-cible a été défini à priori selon les statistiques de Conseil National de l'Ordre des Médecin afin de pouvoir comparer notre échantillon et vérifier s'il était représentatif à posteriori.

---

## 3. Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion étaient être médecin ou interne en France, en activité durant la période où le questionnaire était soumis. Les critères d'exclusion étaient toute personne ne répondant pas au critère d'inclusion.

---

## 4. Critère de jugement principal

### 4.1 Critère de jugement premier

Le critère de jugement principal était l'espérance de vie en état de santé optimal dans des conditions sociopolitiques similaires à notre époque souhaitée pour eux-mêmes par les médecins français en 2017.

La question était posée comme suit :

<i>A titre personnel, si vous aviez la possibilité de choisir librement et individuellement votre espérance de vie, combien d'année souhaiteriez-vous vivre en état de santé optimal ?</i>
--

### 4.2 Critère de jugement premier second

Nous avons aussi proposé à l'ensemble des médecins un questionnement relatif aux interrogations Transhumanistes afin d'établir le degré de pénétrances de ces concepts dans la Médecine Française en 2017.

Les points abordés par ordre d'apparition étaient :

- *La sélection de paramètre pathologique ou non chez les embryons humains*
- *L'étude sur les cellules souche notamment pour le prolongement de l'espérance de vie*
- *L'utilisation de prothèse chez l'humain*
- *L'utilisation d'implant électronique cérébraux chez l'humain*
- *L'uploading ou le téléchargement de conscience dans un ordinateur*
- *La cryogénéisation d'individu vivant*
- *L'égalité des droits entre les homme/post-humain et l'intelligence artificielle*
- *Le clonage thérapeutique ou non-thérapeutique*
- *La gestation extra-humaine*
- *La modification du génome humain à visée curative ou améliorative*

Les réponses positives (« Favorable » ou « oui ») aux questions étaient considérées comme approuvant les valeurs Transhumaniste (exception faite des questions 1 qui n'était pas utilisée pour cette analyse).

---

## **5. Critères de jugements secondaires**

Les objectifs secondaires étaient la recherche d'une association entre les critères de jugement principaux et les spécialités médicales, les tranches d'âge, le sexe et les choix de l'espérance de vie souhaitée par la population de l'échantillon étudié.

---

## **6. Composition du questionnaire**

Le questionnaire (*Annexe 6*) était composé de 20 items répartis sur 3 pages. Il était accessible en ligne sur le site Evalandgo.com. La réponse à chaque item était obligatoire.

Il y avait 2 questionnaires de commentaires facultatifs dont les réponses n'ont pas été analysés.

Les items 1 à 4, situés à la page 1, étaient relatifs à des questionnements éthiques actuels.

Les items 5 et 6 situés à la page 1, traitaient de la possibilité de la création d'organisme cyborg.

Les items 7 et 8 situés à la page 1, traitaient de technologies supposées de l'uploading (le téléchargement d'une conscience humaine dans un programme informatique) et de la cryogénéisation.

Les items 9 à 10, situés à la page 2, avaient pour objectif de déterminer l'éthique des médecins à propos des Posthumains ou d'intelligences artificielles sensibles. Ils étaient accompagnés de

l'information « *Posthumain : humain modifié génétiquement, humain porteur de bio-prothèses et bio-implants cérébraux, esprit humain téléchargé dans un ordinateur* ».

L'item 11, situé à la page 2, portait sur le clonage thérapeutique ou non thérapeutique

L'item 12, situé à la page 2, traitait de la possibilité de la maturation d'enfant sans recours à une femme.

L'items 13, situé à la page 2, portait sur la création d'organismes humains transgéniques.

L'item 14, situé à la page 2, traitait de la sénescence négligeable. Il était accompagné de l'information : « *En 2015 l'espérance de vie en France est de 85,1 ans pour les femmes et 79 ans pour les hommes* » et « *Nous considérons qu'une espérance de vie de 10 000 ans correspond à un processus de vieillissement stoppé* ».

L'item 15, situé à la page 2, était une proposition de commentaire libre, non traité dans les analyses.

Les items 16 à 18, situés à la page ,3 étaient des questions démographiques à propos du sexe, de l'âge et de la spécialité d'exercice des participants.

L'item 19, situé à la page 3, questionnait sur une croyance quelconque en une vie après la mort.

L'item 20, situé à la page 3, était une proposition de commentaire libre non traité dans les analyses.

Les items 1, 3, 9 et 10 étaient binaires avec comme proposition de réponse *Oui/Non*.

L'item 2 était des questions multiples (4 questions) et avait comme possibilité de réponse : *Oui/Non*.

Les items 4, 7, 8 et 12 avaient deux possibilités de réponse : *Je suis favorable / Je suis défavorable*.

Les items 5, 6, 11 et 13 étaient des questions multiples (4 question pour la 5 et la 6, 3 questions pour le 11 et 2 pour la 13) et avaient également deux possibilités de réponse : *Favorable/Défavorable*.

Pour répondre à l'item 14, les participants devaient rentrer manuellement le chiffre d'espérance de vie qu'ils souhaitaient entre 0 ans et 10 000 ans.

Pour accélérer la lecture du questionnaire et éviter les bails de perdu de vue devant la longueur du questionnaire certain mot clés étaient en bleu et en gras. Certaines questions étaient accompagnées d'exemples pour expliciter la question, ils permettaient à un médecin non au fait des avancées d'entrevoir les progrès réalisés dans un domaine sans alourdir le questionnaire d'information qui aurait, peut-être, interrompu la participation.

Exemple question 6 :

Êtes-vous favorable à recherche sur les **cellules-souches à visée curative** de pathologie ?

(Ex : Mucoviscidose, tétra/paraplégie...)

### 6.1.1 Diffusion du questionnaire

L'objectif de cette étude était d'obtenir le maximum de réponse au questionnaire auprès des médecins et internes français. La diffusion du questionnaire a été faite par le biais d'institutions qui devaient relayer par liste de courriels notre message. Ainsi, nous avons contacté :

#### *Pour les médecins Libéraux :*

---

- 45 Syndicats et Association de médecins
- Le Conseil National de l'Ordre des Médecins
- 22 Conseil de l'Ordre Régionaux Métropolitains des médecins (formats des régions avant la réforme de 2015)
- 10 des 13 Agences Régionales de Santé (ARS) (après la réforme des régions de 2015).

#### *Pour les Médecins Hospitaliers :*

---

Nous avons demandé à 31 Centres Hospitaliers Universitaires (CHU) et 15 cliniques et hôpitaux privés de relayer notre questionnaire.

#### *Pour les internes :*

---

Nous avons contacté 22 des 31 Universités de Médecine et nous avons contacté 31 syndicat ou bureaux représentant d'Internes.

#### *Pour les médecins chercheurs*

---

Nous avons également adressé notre requête à de grands instituts de recherche médicale comme l'*Inserm*, l'*Institut National du Cancer*, le Centre de Recherche de Neurosciences de Lyon, l'*Oncopole de Toulouse*, la *Fondation pour la Recherche Médicale*, l'*Académie nationale de Médecine*, le *Centre d'étude et de Recherches en Information Médicale* de Lille.

Le questionnaire était accessible en ligne du 15/01/2017 au 30/06/2017.

Un premier courriel de demande de diffusion du questionnaire a été envoyé aux différentes institutions le 15/01/17 et une relance a été envoyée trois semaines plus tard en l'absence de réponse. La participation n'était plus possible à partir du 30/06/2017.

---

## 7. Analyse statistique

### 7.1 Questionnaire

Les réponses au questionnaire ont été directement saisies par le sujet via l'interface en ligne du site Evalandgo.

Le site fournissait pour les résultats, trois types de tableaux Excel en format CSV (*Comma separated values*) : étiquettes comme réponses, valeurs comme réponses et un tableau en format simplifié. Ces tableaux étaient encodés en ISO-8859-1 et UTF-8.

### 7.2 Anonymat et consentement

L'anonymat était préservé, au moment du recueil chaque individu était identifié anonymement par la date et l'heure de la saisie des réponses.

Le consentement était implicite par la volonté de participer, les sujets interrogés étaient informés de la finalité de l'étude dans le courriel de contact.

### 7.3 Analyse

Les tableaux de contingences ont été construits à partir du recueil de données brut, ils ont été analysés par test du Chi<sup>2</sup> avec correction de Yates lorsque les effectifs étaient supérieurs à 4. Lorsque les effectifs étaient inférieurs à 5, nous avons utilisé le test exact de Fisher.

# RESULTAT

## 1. Questionnaire

### 1.1 Résultats de la Diffusion

	Nombre contacté	ont relayé l'information	n'ont pas répondu	ont refusé	Taux de réponse	Taux de participation
CROM	23	0	21	2	8,70%	0%
ARS	10	0	10	0	0%	0%
CHU	31	2	28	1	9,68%	6,45%
Syndicat ou association de médecin	45	0	42	3	6,67%	0%
Syndicat ou association d'interne	31	6	24	1	22,58%	19,35%
UFR	22	0	19	3	13,64%	0%
Centre de recherche	5	0	3	2	40%	0%
Clinique	15	0	15	0	0%	0%

Liste complète des Hôpitaux, clinique et associations contactées en annexe 7

Nous avons un taux de diffusion globale de notre questionnaire de : 3,23 %

Nous n'avons pas pu obtenir le taux de participation, car certaines institutions ne nous ont pas communiqué le nombre de personnes contacté via leur liste de courriels.

### 1.2 Participation

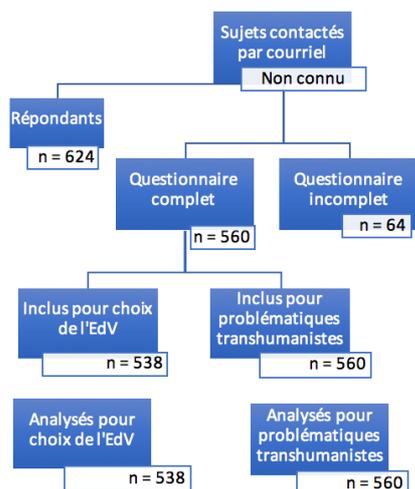


Figure 1 Diagramme de flux

Entre 15/01/2017 au 30/06/2017, 624 personnes ont répondu au questionnaire, 560 ont complété intégralement le questionnaire, soit 10,69 % (64) de perdu de vue.

## 1.3 Population

### 1.3.1 Age

68,93 % (386) des 560 répondants était dans la tranche d'âge [20-35], 14,11 % participants (79) étaient dans la tranche d'âge [ >35-45], 8,93 % répondants (50) pour la tranche d'âge [ >45-55].

Enfin, nous avons regroupé pour nos analyses la tranche d'âge [ >55-65] avec 6,96 % participants (39) et la tranche [ >65] qui compté seulement 1,07 % (6) des répondants.

Tranche d'âge	n	%
[20-35]	386	68,93%
[ >35-45]	79	14,11%
[ >45-55]	50	8,93%
[ >55-65]	39	6,96%
[ >65]	6	1,07%

### 1.3.2 Genre

59,64 % (372 sur 560 participants) étaient des femmes et 40,34 % (226) étaient des hommes

### 1.3.1 Spécialité

45 % (252) participants étaient des médecins généralistes. L'ensemble des spécialités médicales et chirurgicales étaient représentées à des degrés moins importants. La liste complète des spécialités et leur participation est disponible en annexe 8.

### 1.3.2 Vie après la mort

33,57 % (188) participants ont déclaré avoir une croyance quelconque en une vie après la mort. Les hommes croyaient à 27,88 % et les femmes à 37,43 (p-value=0,02). Chez les femmes, il y avait une tendance non significative à la diminution de la croyance en la vie après la mort avec l'âge.

## 1.4 Critère de Jugement principal

En raison d'un problème technique lors de la saisie des réponses par les participants, seulement 538 des 560 répondants ont pu répondre à la question du choix de l'espérance de vie.

Le choix d'années d'EdV qui arrivait en première position était 100 ans avec 26,25 % (147) des participants. Les EdV 90 ans et 80 ans étaient respectivement représentées en deuxième position avec 13,04 % (73) des participants et troisièmes avec 9,11 % (51) des individus.

Enfin en cinquième position se trouvait l'EdV de 10 000 ans avec 8,21 % (46) des répondants.

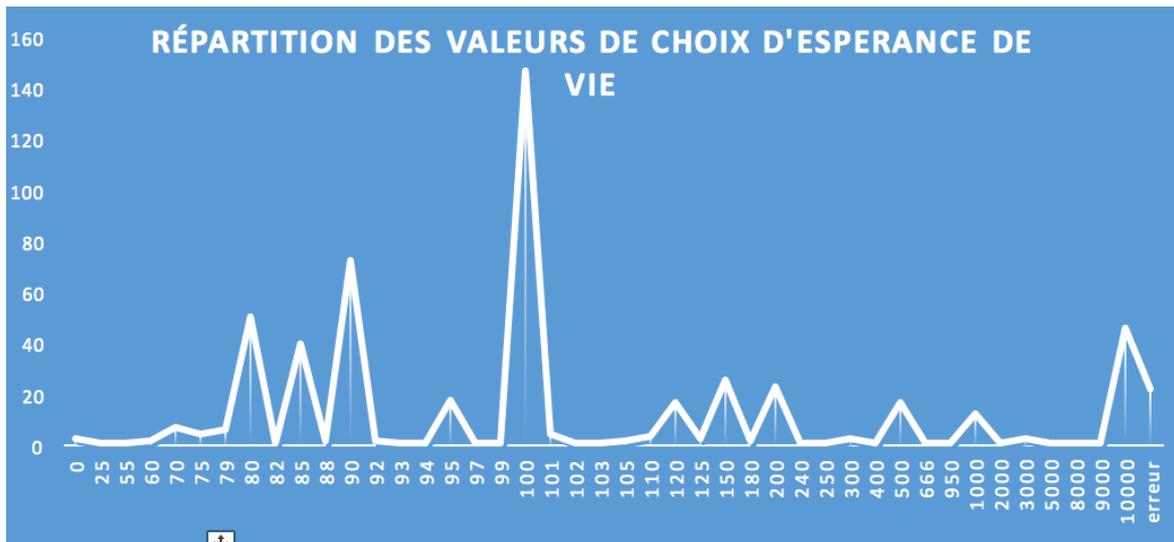


Figure 2 Répartition des valeurs de choix d'espérance de vie

Pour l'analyse, nous avons décidé de regrouper les choix d'années d'espérance de vie par tranches variable d'années. De manière globale les individus ont envisagé une espérance de vie de [0 à 79ans] à 4,65 % (25), de [80 à 85 ans] à 17,10 % (92) et de [88 à 110 ans] à 48,14 % (259). 12,32 % (13) ont souhaité avoir une espérance de vie de 1 000 ans et 8,21 % (46) une espérance de vie de 10 000 ans.

#### 1.4.1 Résultat du CJP total et en fonction du sexe

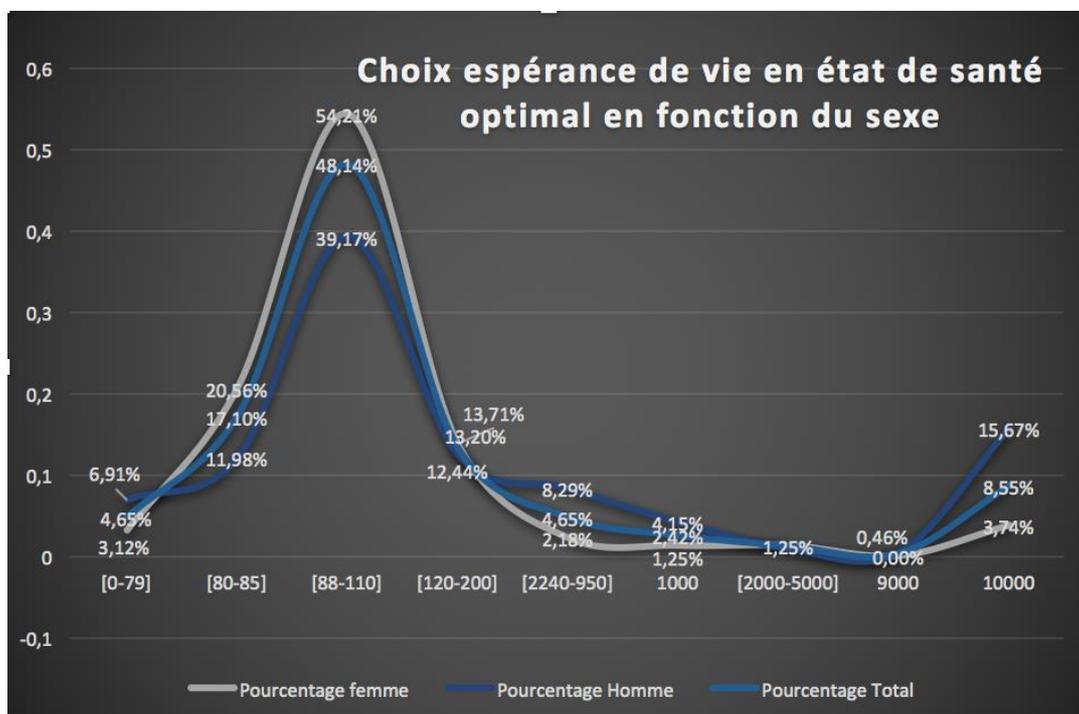


Figure 3 Résultat du CJP en fonction du sexe

54,21 % des femmes et 39,17% des hommes souhaitaient avoir une EdV de [88-110] p-value 0,04, de même pour l'EdV comprise entre [80-85], nous avons 20,56 % des femmes et 11,98 % des hommes, p-value 0,03. Concernant la tranche [2240-950], elle était choisie par seulement 2,18 % des femmes mais 8,29 % des hommes, p-value 0,01. Il n'y avait pas de différence significative pour le choix d'une sénescence négligeable (EdV de 10 000ans) p-value 2,04. Globalement il y avait une tendance pour les hommes à choisir une espérance de vie plus longue que les femmes.

#### 1.4.2 Résultat du CJP total et en fonction de l'âge

Compte tenu de la sur-représentativité d'une population jeune dans notre étude, il est difficile de conclure de manière significative sur les choix d'espérance de vie en fonction de l'âge. On peut seulement décrire une tendance des hommes de la tranche 4-5 dans le choix de la sénescence négligeable (10 000).

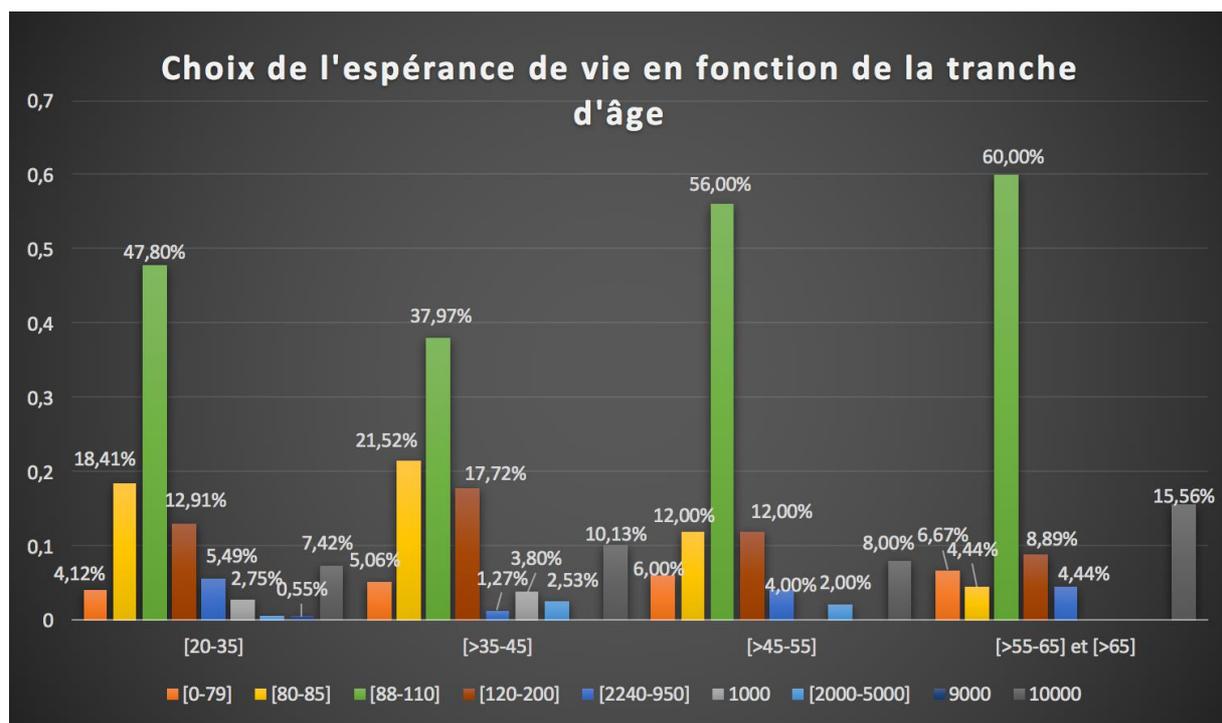


Figure 4 Choix de l'espérance de vie en fonction de la tranche d'âge

### 1.4.1 Résultat du CJP total et en fonction de la croyance de la vie après la mort.

Il n'y avait pas de différence significative entre le choix de l'espérance de vie et le fait de croire ou non en la vie après la mort, les courbes étaient globalement superposables.

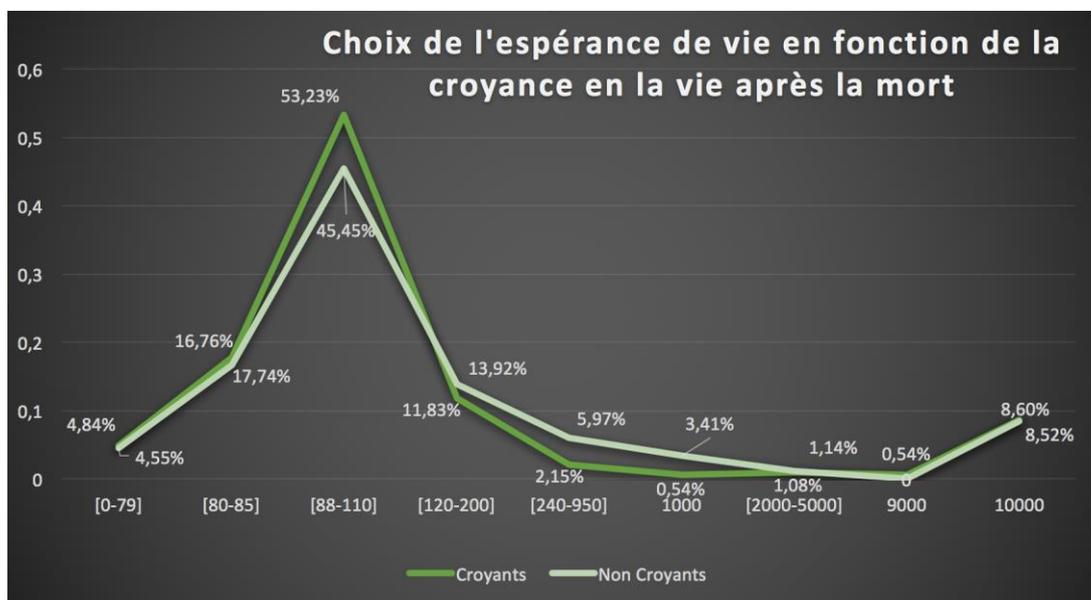


Figure 5 Choix de l'espérance de vie en fonction de la croyance en la vie après la mort

## 1.5 Pénétrance des problématiques Transhumanistes.

### 1.5.1 Pénétrance des problématiques Transhumanistes résultats globaux

#### 1.5.1.1 IVG

À la question « pensez-vous que les femmes devraient avoir le droit d'interrompre une grossesse », 97,25 % des participants ont répondu oui. Cette question n'avait pas vraiment de valeur dans notre questionnaire mais seulement pour but d'évaluer la pertinence de notre questionnaire. Les 21 individus qui étaient contre étaient à 57,15% des hommes et n'avaient pas une position particulièrement différente de la population générale vis avis de la vie après la mort (13 croyants dans les 21 individus). Cependant, l'analyse en sous-groupe révèle une disparité concernant la tranche d'âge supérieure à 65 ans qui étaient défavorables à 33,33 % p-value=0,03. Il n'y avait pas différence significative vis-à-vis du sexe dans le déterminant de l'acceptabilité de l'IVG.

#### 1.5.1.2 Choix des caractéristiques chez les enfants par les parents

Concernant le choix des parents vis-à-vis de leur enfant, 97,14 % des individus interrogés se sont montrés défavorables au choix du sexe, 97,32 %, défavorable au choix de l'intelligence de

leur enfant et 98.57 % défavorable au choix de caractéristique non pathologique. Concernant l'exclusion par les parents de caractéristique pathologique chez leur enfant, 67,20 % des interrogés ont été favorables.

#### *1.5.1.3 Etude des cellules souches*

Concernant les cellules-souches 98.57 % des sondés étaient favorables à leur utilisation à visée curative, et 46.95 % étaient également favorables à leur utilisation pour repousser les limites de l'espérance de vie de l'être humain en bonne santé. L'étude des cellules-souches dans la perspective de prolonger l'espérance de vie était la problématique Transhumaniste qui a reçu le plus d'opinions favorables.

#### *1.5.1.4 Prothesing et implants cérébraux*

À propos de l'utilisation de prothèses sensorielles, 99.64 % des médecins étaient favorables à leur utilisation chez les individus déficients et 21.43 % pour les individus non déficients dans l'objectif d'augmenter une perception. De même 99.11 % et 99.46 % des individus étaient favorables respectivement, à l'utilisation de prothèse d'organe chez les patients insuffisants et l'utilisation de prothèse de membres chez des amputés.

Cette distinction entre curatif et mélioratif se retrouve dans l'analyse des données qui traite des implants cérébraux électroniques où, 97.32 % des médecins sont favorables à leur utilisation pour le traitement de maladies neurodégénératives, 98.21 % favorable pour le contrôle d'un mécanisme chez un déficient (bouger une souris d'ordinateur chez un tétraplégique) ; 93.39 % de favorable pour leur utilisation dans le traitement de maladie psychiatrique, mais seulement 11.79 % de favorable pour le contrôle d'un mécanisme chez les non déficient (par exemple surfer sur Internet).

#### *1.5.1.5 Uploading et cryogénéisation*

L'uploading ou le téléchargement de conscience dans un ordinateur s'il s'agissait de l'unique moyen de demeurer conscient était envisagé par 16.61 % des individus interrogés, de même 21.43 % envisageait la cryogénéisation. Même si une tendance se démarque, il n'y avait pas de différence significative entre le fait de croire ou non en une vie après la mort et l'acceptabilité de la cryogénéisation (p -value=0,06), 0,5 ou de l'uploading (p -value=0,86). Respectivement 42

femmes (12.57 %) et 51 des hommes (22.56 %) étaient favorables à l'uploading (p -value=0,01), et 55 (16.47 %) versus 65 (28.76 %) pour la cryogénisation (p -value=0.01).

#### *1.5.1.6 Egalité de droit*

Au sujet de l'égalité des droits, une distinction était faite puis 63.75 % et 23.57 % des participants étaient respectivement favorables à l'égalité entre l'homme et un Posthumain ou entre l'homme et une intelligence artificielle. Il n'y avait pas de différence significative entre le sexe, le fait de croire en une vie après la mort et vouloir ou non une égalité de droit.

#### *1.5.1.7 Clonage*

88,67% des médecins étaient en accord avec l'idée de produire par clonage un organe afin de soigner un individu malade, mais seulement 22 % l'étaient quant à l'idée de produire un clone complet inconscient afin de soigner l'individu cloné. 83,39 % des individus étaient défavorables à l'idée de créer un corps de remplacement par clonage pour y transférer sa conscience.

#### *1.5.1.8 Ectogénese*

Seulement 7.69 % (43) des médecins étaient en accord avec l'idée de la gestation extracorporelle/utérus artificiel chez les femmes qui ne présenteraient pas de pathologie de la grossesse. Parmi ces 43 personnes, près de la moitié souhaitait avoir une espérance de vie augmentée puisque 4 souhaitaient vivre 500 ans, deux 1000 et quatorze 10 000. Une disparité par sexe était visible puisque 11,06 % des hommes et 5,39 % des femmes étaient favorables à cette technique (p -value=0,03).

#### *1.5.1.9 Modification de génome*

Même si la distinction entre curatif et mélioratif était présente à propos de la modification du génome, les individus se sont montrés plus réticents concernant la visée curative puisque 66.25 % était favorable à la modification du génome à visée curative et seulement, 7.51 % (42) à visée avantageuse ou modificatrice. Parmi ces 42 individus, 20 souhaitaient une espérance de vie de plus de mille ans dont 18 de 10 000 ans, seulement 8 avait une croyance de vie après la mort et 1 seulement était opposé à l'IVG.

### 1.5.2 Résultats globaux, mélioratif/curatif

Nous avons distinct deux types d'avancées selon qu'elles appartenait au domaine du soin ou de l'amélioration humaine. Nous n'avons pas inclus les problématiques d'égalité de droit.

Mélioratif	Curatif
Pour le choix du sexe des enfants	Pour l'exclusion des critères pathologiques chez les enfants
Pour le choix de l'intelligence des enfants	Pour l'étude cellule souche à visé curative
Pour le choix de critères non pathologiques chez les enfants	Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un déficient
Pour l'étude des cellules souches pour prolonger l'EdV	Pour l'utilisation de prothèse d'organe chez un insuffisant
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un non déficient	Pour l'utilisation de prothèse de membre chez un amputé
Pour l'utilisation d'ICE chez les non déficients	Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladie neurodégénérative
Pour le clonage complet d'être inconscient	Pour l'utilisation d'ICE chez les déficients
Pour le clonage complet de remplacement	Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladies psy.
Pour l'uploading	Pour le clonage d'organe
Pour la cryogénéisation	Pour la modification du génome à visé curative
Pour l'ectogénese	
Pour la modification du génome à visé méliorative	

- Résultat pour l'ensemble des modifications mélioratives (question sur l'égalité des droit exclus) : 14,91% des participants étaient favorables.
- Résultat pour l'ensemble des modifications curatives : 90,78 % de favorables.

### 1.5.3 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction du sexe

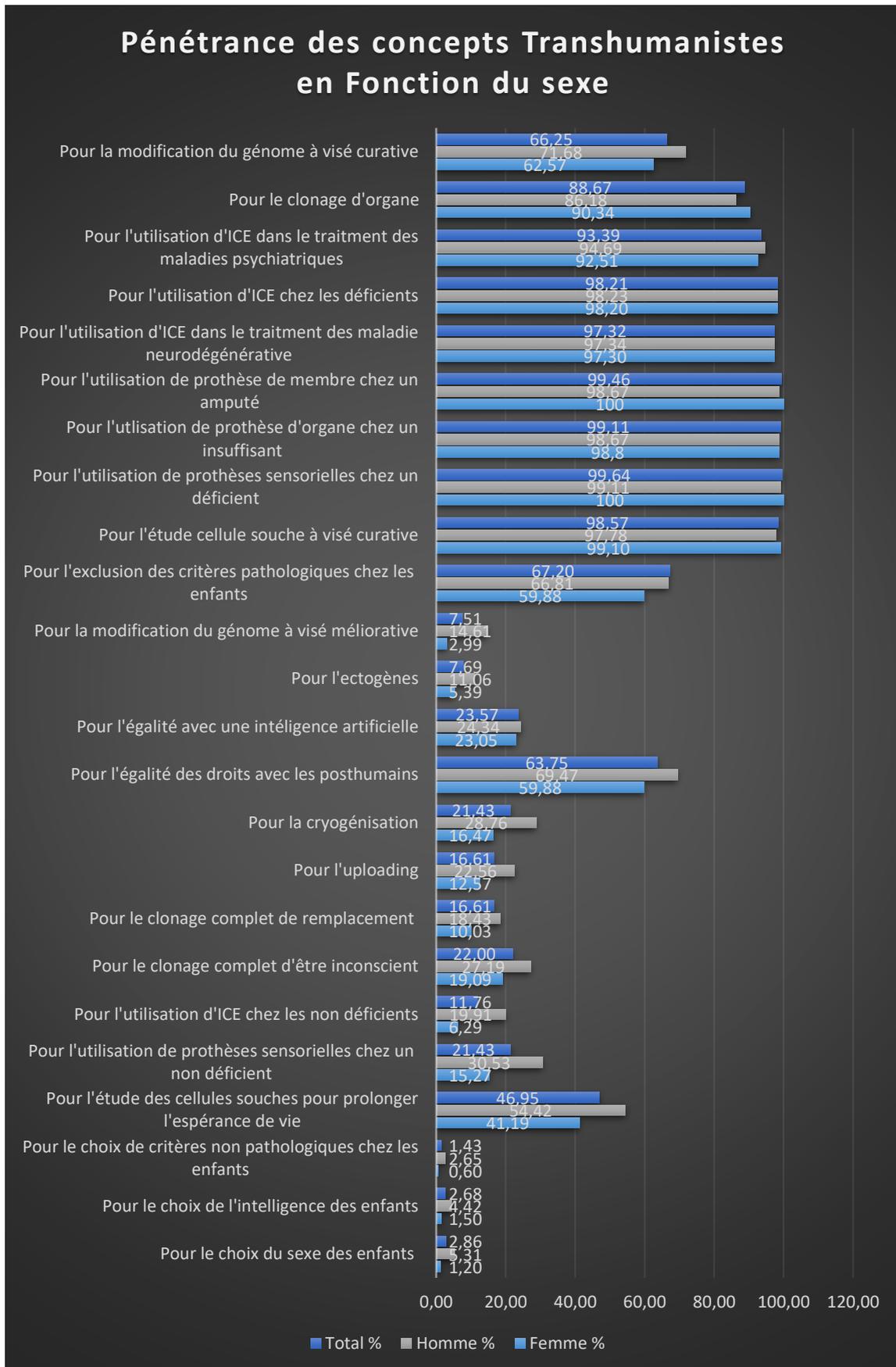


Figure 6 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction du sexe

### 1.5.4 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de l'âge

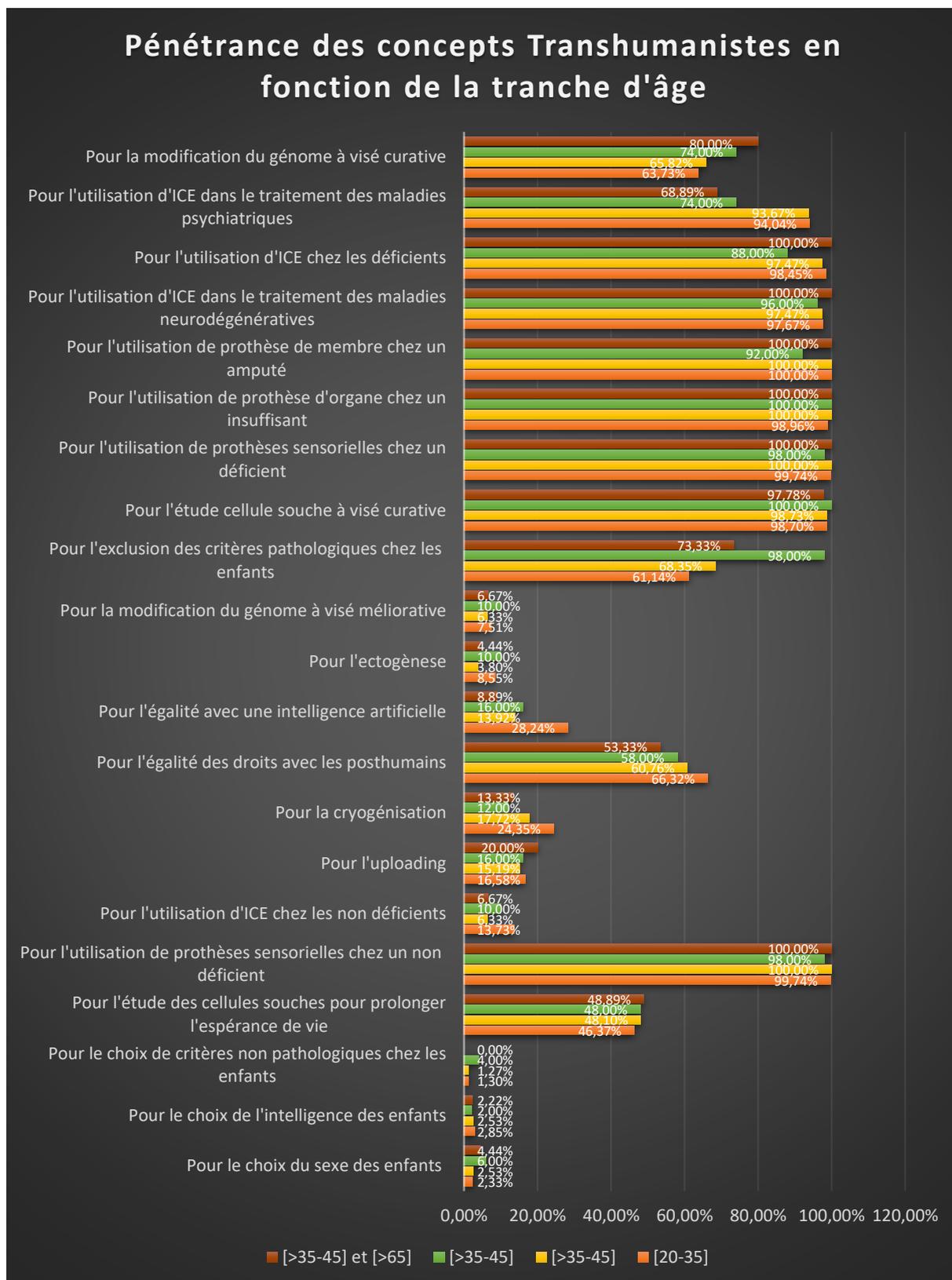


Figure 7 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de l'âge

En raison d'un problème technique au moment du recueil, les questions relatives aux clonages n'ont pas pu être analysées en fonction de la tranche d'âge. Une fois de plus la faible participation des tranches 3, 4 et 5 ne nous a pas permis d'effectuer des analyses en sous-groupe significatives. Il semblerait qu'il n'y est pas de différence entre la tranche d'âge et l'acceptabilité des concepts Transhumanistes. On peut tout de même observer que concernant l'égalité de droit avec les Posthumain il semblerait y avoir une corrélation entre l'acceptabilité et le fait d'être plus jeune et inversement avec la modification du génome à visée curative.

#### *1.5.5 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort.*

Le fait de croire ou ne pas croire en la vie après la mort, n'a pas d'influence sur les choix des modifications lorsqu'elles sont à visée curative. Cependant il existe une distinction à faire sur les sujets « polémiques » comme la modification du génome ou le clonage thérapeutique, où le fait d'être croyant est corrélé à une diminution de l'acceptabilité. Il semblerait qu'il y ait une tendance pour les non-croyants à être plus ouverts aux problématiques Transhumanistes dans le domaine de l'humain *enhancement*. Le sujet où il y avait la plus grande discordance était à propos du recours à la cryogénie. Il n'y avait pas de différence significative mais seulement des tendances.

## Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort

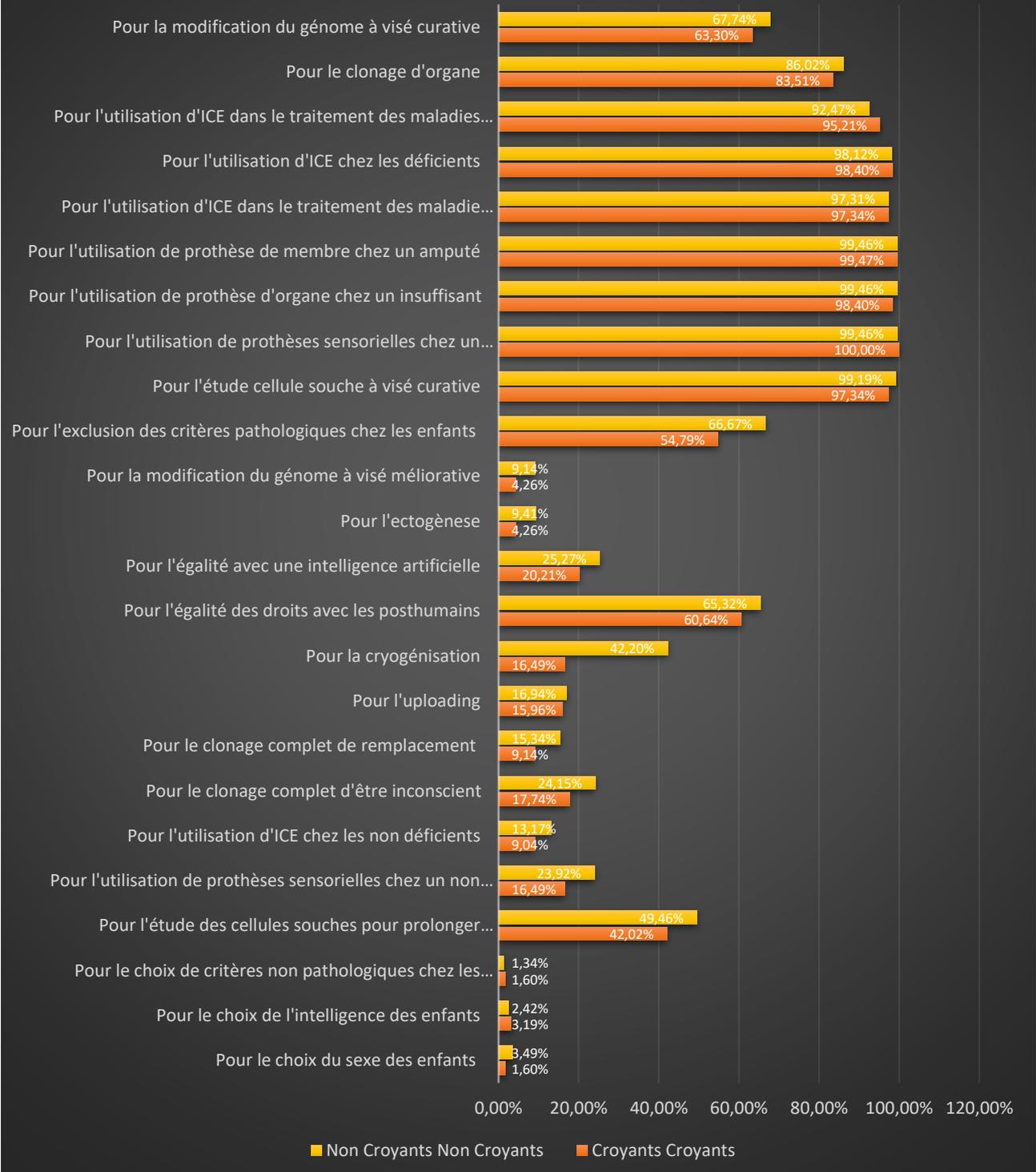


Figure 8 Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort

## 1.6 Indice de pénétrance Transhumaniste

Nous avons souhaité établir un indice de pénétrance du Transhumanisme. Conformément à la définition du Transhumanisme, c'est-à-dire améliorer les caractéristiques physiques et mentales des êtres humains, nous avons sélectionné les items relatifs à l'humain *enhancement*, ou l'amélioration humaine.

### 1.6.1 Les items sélectionnés étaient :

- Le choix du sexe des enfants ;
- Le choix de l'intelligence des enfants ;
- Le choix de critères non pathologiques chez les enfants ;
- L'étude des cellules souches pour prolonger l'espérance de vie ;
- L'utilisation de prothèses sensorielles chez un non déficient ;
- L'utilisation d'ICE chez les non déficients ;
- Le clonage complet de remplacement ;
- L'uploading ;
- La cryogénéisation ;
- L'égalité avec une intelligence artificielle ;
- L'ectogénèse ;
- La modification du génome à visée améliorative.

Nous avons exclu de cet indice les items relatifs au clonage complet d'être inconscient et l'égalité des droits avec les posthumains.

### 1.6.2 Echelle du score

Les répondant était classé en 5 groupe en fonction de leur réponse :

- Pénétrance nulle pour les individus avec un score de 0 sur 12
- Pénétrance faible pour un score entre 1 et 2
- Pénétrance moyenne pour un score entre 3 et 5
- Pénétrance forte pour un score entre 6 et 9
- Pénétrance totale pour un score >9

### 1.6.3 Résultat de l'indice de pénétrance Transhumaniste (IPT)

Le score majoritaire était la valeur nulle pour l'IPT avec 33,57 % des participants qui avaient fait ce choix. Les valeurs étaient ensuite décroissantes de 1 (24,82 %) à 9 (0,89 %) puis nous avions une absence de valeur entre 9 et 11. La pénétrance totale avec un score de 12/12 était présente chez 2 individus.

Valeurs	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12
Nombre de fois	188	139	90	49	35	22	12	12	6	5	2
%	33,57%	24,82%	16,07%	8,75%	6,25%	3,93%	2,14%	2,14%	1,07%	0,89%	0,36%

#### 1.6.3.1 Résultat IPT globale et en fonction du sexe

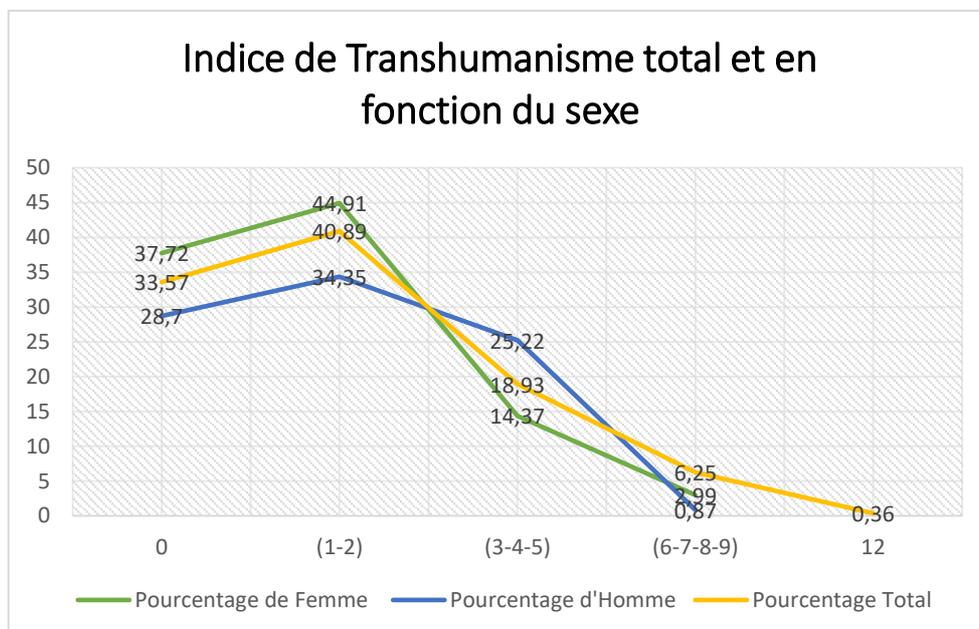


Figure 9 IPT total et en fonction du sexe

La tranche majoritaire était la pénétrance faible avec un total de 40,89 % (229) des participants. En deuxième position apparaissait la pénétrance nulle, qui rassemblait 33,57 % (188) participants. La pénétrance moyenne et forte représentait respectivement 18,93 % (106) et 6,25 % (35) des participants avec un ratio significatif pour les hommes. Une pénétrance totale avec un score de 12/12 a été déclaré chez deux hommes.

### 1.6.3.2 Résultat de l'IPT en fonction de l'âge

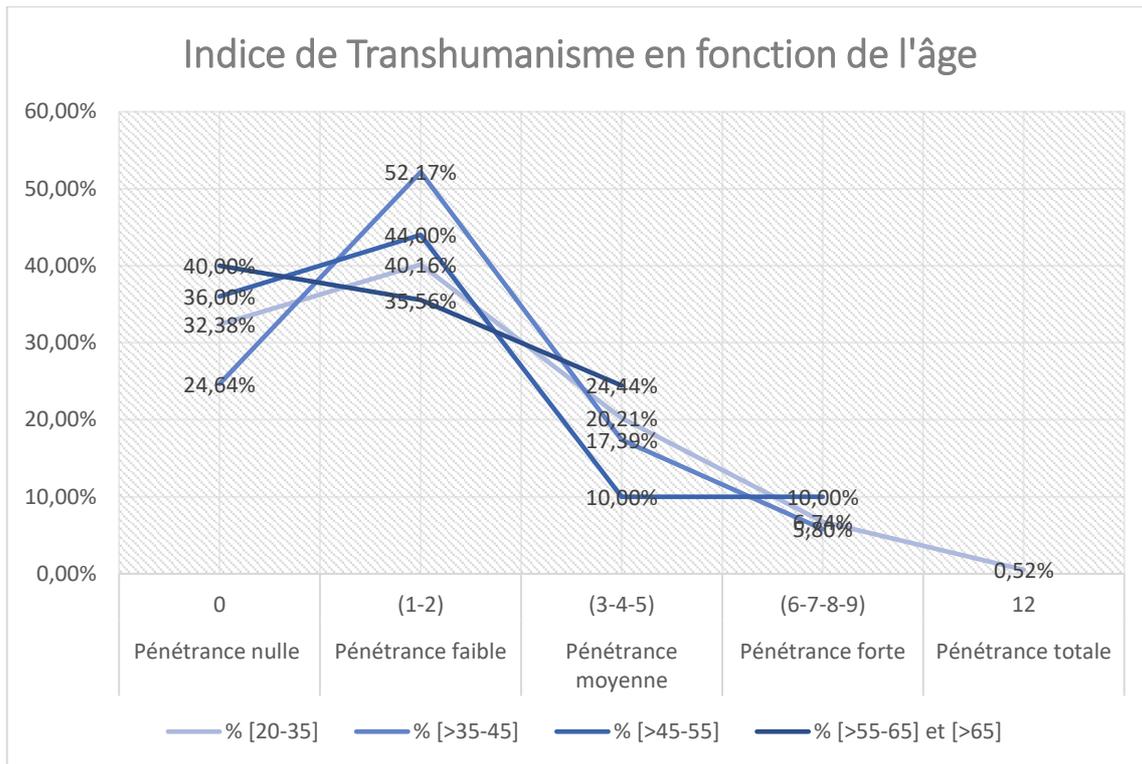


Figure 10 IPT en fonction de l'âge

Chez les 20-35 ans la pénétrance faible était majoritaire avec 40,16 % des participants puis venait la pénétrance nulle avec 32,38 %. Les deux seuls individus à avoir une pénétrance totale avec un score de 12/12 était dans la tranche d'âge 20-35. Les 36-45 ans avaient une répartition des valeurs d'indice sensiblement superposables.

### 1.6.3.3 Résultat de l'IPT en fonction de la croyance en la vie après la mort

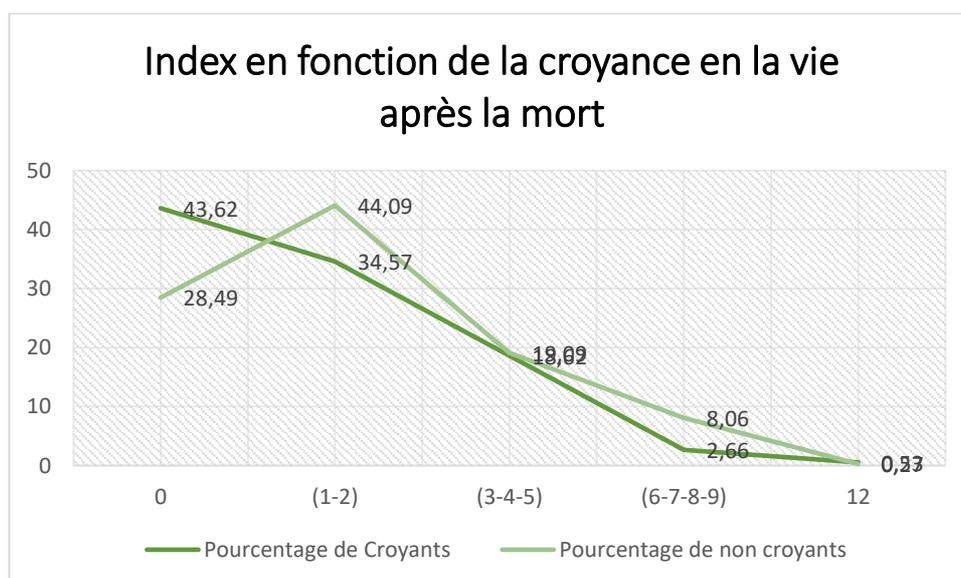


Figure 11 IPT en fonction de la croyance en la vie après la mort

Les personnes qui choisissent un IPT nul sont plus souvent des croyants, puisqu'ils représentent 43,62 % de ceux-ci contre 28,49 % des non-croyants. Les non-croyants sont ensuite majoritaires sur les autres valeurs avec des écarts plus importants sur les IPT faibles (44,09 % des non-croyants contre 34,57 % des croyants) et forts (8,06% versus 0,53 %). La pénétrance totale a été choisie par un individu de chaque groupe.

#### 1.6.3.3.1 Résultat de l'IPT en fonction de la spécialité

Devant la disparité de la composition de nos groupes d'étude en fonction des spécialités nous avons fait le choix de regrouper les spécialités en 9 groupes.

##### Groupe 1 :

- Médecine Générale

##### Groupe 2 :

- Cardiologie
- Dermatologie-Vénérologie
- Endocrinologie et Diabétologie
- Gastroentérologie
- Gériatrie
- Médecine Interne
- Médecine Physique et Réadaptation
- Néphrologie
- Neurologie
- Oncologie
- Pneumologie
- Rhumatologie

##### Groupe 3 :

- Anesthésie-réanimation
- Médecine d'urgence

##### Groupe 4 :

- Pédiatrie
- Génétique
- 

##### Groupe 5 :

- Gynécologie

##### Groupe 6 :

- Psychiatrie

##### Groupe 7 :

- Chirurgie Orthopédique
- Chirurgie Plastique et reconstructrice
- Chirurgie Viscérale
- Neurochirurgie
- Oto-rhino-laryngologie
- Ophtalmologie
- Stomatologie
- Urologie

##### Groupe 8 :

- Anatomico-pathologie
- Biologie Médicale
- Chercheur
- Médecine Nucléaire
- Radiologie

##### Groupe 9

- Médecine du Travail et Scolaire
- Santé Publique

Le Groupe 1 (Médecine Générale) avait une pénétrance nulle et faible superposable avec respectivement 37,70 et 38,10% des participants de ce groupe. Il y avait ensuite une diminution de la distribution des valeurs pour la pénétrance moyenne (17,06 %) et forte (6,75 %). Le Groupe 3 (Anesth/Réanimation/urgences) avait une répartition similaire

Le groupe 2 (Spécialités Médicales) avait une pénétrance nulle proche du groupe 3 avec 43,37% des participants mais avait ensuite des indices décroissants. Le groupe 5 (Gynécologue) était le groupe le moins ouverts au transhumanisme avec une pénétrance nulle à 58,33% et aucun choix de pénétrance forte. Les groupe 6 (Psychiatrie) et 8 (spécialités non cliniques) était les groupes les plus ouverts au transhumanisme avec cependant des répartitions différentes. Les deux individus à avoir choisi une pénétrance totale était dans le groupe 1 et 3.

Tableau 4 : Résultat de l'IPT total et en fonction des spécialités médicales											
	Pénétrance nulle 0		Pénétrance faible (1-2)		Pénétrance moyenne (3-4-5)		Pénétrance forte (6-7-8-9)		Pénétrance totale 12		Total
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Groupe 1	95	37,70%	<b>96</b>	<b>38,10%</b>	43	17,06%	17	6,75%	1	0,40%	252
Groupe 2	<b>36</b>	<b>43,37%</b>	27	32,53%	17	20,48%	3	3,61%			83
Groupe 3	21	42,00%	<b>22</b>	<b>44,00%</b>	4	8,00%	2	4,00%	1	2,00%	50
Groupe 4	7	29,17%	<b>14</b>	<b>58,33%</b>	2	8,33%	1	4,17%			24
Groupe 5	<b>14</b>	<b>58,33%</b>	8	33,33%	2	8,33%					24
Groupe 6	6	26,09%	<b>8</b>	<b>34,78%</b>	5	21,74%	4	17,39%			23
Groupe 7	9	24,32%	<b>18</b>	<b>48,65%</b>	7	18,92%	3	8,11%			37
Groupe 8	6	26,09%	7	30,43%	<b>10</b>	<b>43,48%</b>	2	8,70%			23
Groupe 9	1	11,11%	<b>4</b>	<b>44,44%</b>	3	33,33%	1	11,11%			9

## DISCUSSION

---

### 1.7 Population de l'étude

La population de notre étude n'était pas représentative de la population générale des médecins français. Selon l'atlas de démographie médicale du Conseil National de L'ordre des Médecins, au 1er janvier 2016, les médecins inscrits en activité régulière au tableau de l'Ordre étaient âgés en moyenne de 51,3 ans, les médecins âgés de 60 ans et plus représentent 27,1 % des effectifs alors que les médecins âgés de moins de 40 ans représentent 18,6 % des effectifs. Les Médecins généralistes représentaient 41,24 % de la population des praticiens (88 886 des 215 583 médecins actifs et inscrit à l'Ordre dont 54 % d'hommes et 46 % de femmes).

Ce biais peut être corrélé au faible taux de participation des institutions à transmettre le questionnaire vis-à-vis de la participation plus importante des associations et syndicats d'internes et jeunes médecins.

### 1.8 Esperance de vie

De manière globale les individus ont souhaité vivre entre 80 et 200 ans avec un pic de choix entre 85 et 110. Cela signifie que les individus qui avaient le choix, ont souhaité vivre seulement un peu plus longtemps en bonne santé que leur espérance de vie. Cette EDV semble « envisageable », au vu de la marche de l'évolution médicale et des connaissances actuelles (pour mémoire la doyenne de l'humanité, Jeanne Calment, a vécu 122 ans, 5 mois et 14 jours) mais reste en deçà des projections de l'Insee. Il serait intéressant de savoir si ce choix provient d'une crainte ou d'un refus de la prolongation de l'espérance de vie hors normes ou au contraire de la volonté de correspondre à une espérance de vie « envisageable » sans modification profonde des caractères humains. Globalement, et pour une raison que nous n'expliquons pas, les hommes choisissent une espérance de vie plus longue que les femmes, cela est particulièrement vrai dans les valeurs hors normes.

Concernant l'immortalité réelle ou senescence négligeable il semblerait qu'il y est une prédominance masculine, le chiffre de 8,55% ne peut être comparé à un autre puisque à notre connaissance aucune étude n'avait interrogé les individus sur ce sujet. Il serait intéressant de l'établir en population générale. Étrangement le fait de croire ou ne pas croire ne change pas le souhait d'avoir une espérance de vie illimitée.

Une enquête *Ipsos* commandé par *Korian* (entreprise française de gestion de maisons de retraite) a été réalisée par internet en juin 2017 auprès d'un échantillon de 2 103 personnes, représentatif de la population française(113). Elle avait retrouvé que 26 % des Français estiment qu'il y a une probabilité importante qu'ils vivent jusqu'à 100 ans et 71 % le souhaiteraient à la condition d'être en bonne santé. Par ailleurs 62 % estiment qu'il sera effectivement possible de vivre en bonne santé jusqu'à l'âge de 100 ans dans les années à venir. 58 % des Français considèrent qu'avant d'être un défi, le fait d'avoir de nombreuses personnes d'un grand âge est pour la société française surtout une richesse.

Néanmoins, un sondage *Opinionway* réalisé pour *Swisslife*(112) en 2016 montre que seulement 37 % des français pensaient que l'espérance de vie aller augmenter (45 % pour les hommes et 37 % pour les femmes). Les sondés espéraient vivre jusqu'à 83 ans et 74 en bonne santé. (Femme 82 ans et 72 ans en bonne santé et homme 84 ans et 76 ans en bonne santé). Ils souhaitent consacrer leur temps à leur proche (62 %) et à leurs loisirs (61 %), à s'engager dans la vie associative ou citoyenne (20 %) et à continuer à travailler (8 %). Selon les sondés la finalité des progrès de la médecine est d'aider à limiter les marques du vieillissement à 15 % et de repousser les limites de la mort à 8 %.

Une enquête menée en 2014, par le *CRÉDOC*<sup>27</sup>(115) à la demande de *La Croix* et de *France Télévisions* auprès d'un échantillon représentatif de 2 000 personnes, sélectionnées selon la méthode des quotas, a révélé que les français attendaient de la médecine du futur qu'elle améliorer les capacités physiques et mentales des personnes en bonne santé (58 %), et non pas seulement de se limiter à soigner les maladies (58 %). 45% pense même que la médecine doit aider à « repousser les limites de la mort » et 38 % que ces progrès doivent lutter contre les marques du vieillissement.

---

<sup>27</sup> Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie.

## 1.9 Pénétrance Transhumaniste

### 1.9.1.1 IVG

Il reste surprenant de constater que 3,77 des médecins se positionnent contre l'IVG, ce qui d'autant plus vrai chez les hommes de plus de 65ans. Cette question était une simple question d'accroche à notre questionnaire.

### 1.9.1.2 Choix des caractéristiques chez les enfants par les parents et cellules souches.

Le choix de critères non pathologiques par les parents chez les enfants comme le sexe et l'intelligence était les problématiques Transhumanistes ou les interrogés se sont montrés le plus réticents, il existe un ratio homme/femme important avec une acceptabilité plus grande de la part des hommes notamment pour le choix du sexe de l'enfant.

A contrario, l'étude des cellules-souches pour prolonger l'espérance de vie était la problématique Transhumaniste qui a le plus séduit.

### 1.9.1.3 Prothesing et implants cérébraux

Nous n'expliquons pas le refus de 0,89 % et de 0,54 % des médecins pour les prothèses d'organe ou de membres à l'heure de la dialyse et des prothèses inertes l'un comme l'autre n'apporteraient qu'une amélioration de la qualité de vie vis-à-vis de techniques existantes déjà. Il existe clairement une distinction entre vouloir corriger un handicap et améliorer l'humain, par exemple, des implants cérébraux pour contrôler un ordinateur sont considérés comme acceptables chez un individu tétraplégique, mais ne le sont pas du tout pour un individu valide, alors qu'en substance il s'agit de la même chose.

### 1.9.1.4 Uploading et cryogénéisation

Les chiffres d'acceptabilité de ces techniques sont surprenants car plus élevés que ce que nous attendions initialement. En effet quasiment, un quart des hommes seraient prêts à envisager ces techniques pour prolonger leur espérance de vie, ce qui n'est pas le cas des femmes. Il serait vraiment intéressant de réaliser une analyse par entretien individuel de ses individus pour comprendre leur représentation d'une conscience sauvegardée.

### 1.9.1.5 Egalité de droit

Les médecins que nous avons interrogés distinguent un Posthumain d'une intelligence artificielle sensible, il se peut que cette dichotomie soit le résultat d'un manque d'explication

sur le sujet ou de l'incrédulité que certains peuvent exprimer envers des hypothétique IA sensible. Néanmoins à terme si véritablement ces deux hypothèses se réalisaient, on pourrait se demander quelle différence entre un humain cyborg, une IA sensible dans un androïde, un humain uploadé. Peut-être le « souvenir » de l'humain.

#### *1.9.1.6 Ectogènese*

Il est surprenant de constater que les hommes sont plus ouverts à l'ectogènese que les femmes. En effet, nous pourrions penser que cette technique aurait pu être perçue comme émancipatrice et source d'égalité entre homme et femme. Cependant, il est probable que les femmes soient attachées à la notion de maternité dans son intégrité. La faible acceptabilité de cette technique était attendue dans la mesure où elle représenterait un changement de paradigme, une cassure dans l'Histoire de l'humanité

#### *1.9.1.7 Dualité Curatif.Mélioratif*

La pénétrance des concepts Transhumanistes chez les médecins français reste faible lorsqu'il s'agit de modifier l'humain sans intention curative, mais semble beaucoup plus acceptable lors de la possibilité de soigner une pathologie ou de réparer un handicap. Là aussi, une distinction est faite avec un interdit qui reste présent quant à la modification de génome quand bien même ce serait dans une optique de soins.

Nos résultats sont discordants avec l'étude d'*Opinionway* pour *Swisslife(112)*, réalisée en population générale, selon laquelle pour les sondés la finalité des progrès de la médecine est de soigner les maladies à 78 % mais également d'aider à améliorer les capacités physiques et mentales d'une personne en bonne santé à 54 %. Dans ce sondage le transhumanisme défini comme « *Aujourd'hui on parle en médecine de transhumanisme ou d'homme augmenté, ce qui signifie que les progrès en médecine permettront à l'avenir d'augmenter fortement la longévité des hommes via par exemple des implants rétiniens électroniques pour redonner la vue, des prothèses intelligentes, des organes artificiels etc. Diriez-vous que ce type d'évolutions est une bonne ou une mauvaise chose ?* » était perçu comme une bonne chose par 72 % des français, dont 12 % comme une très bonne chose.

Nos résultats sont concordants avec les sondages français(66) et américains(65) effectués en population générale où la même dualité entre soins et mélioratifs était présente et où la sanctuarisation du génome humain avait déjà émergé. Dans le sondage *Ifop* pour *AllianceVita*

(66), une association pro-vie il y avait une *adhésion* à 76% pour l'utilisation du CRISPR-Cas9 sur des personnes souffrant d'une maladie d'origine génétique et une *opposition* à 76 % quant à l'utilisation du CRISPR-Cas9 pour modifier des embryons humains in vitro. Ce qui là aussi, confirme la dichotomie que notre étude a mis en évidence entre soin et amélioration. Dans la méta-analyse américaine «*The Public and the Gene-Editing Revolution* » (65) 64 % du public américain pensaient que le gouvernement fédéral devrait financer la recherche scientifique sur le développement de nouveaux traitements de thérapie génique et 59 % pensaient que la Food and Drug Administration devrait approuver les thérapies géniques aux Etats-Unis. Plus de 84 % des Etasuniens interrogé approuvaient la modification des gènes d'une personne pour empêcher ses enfants d'hériter d'une maladie génétique généralement mortelle et 59 % approuvaient des parents qui modifieraient leurs propres gènes pour empêcher leurs enfants d'avoir une maladie génétique. Cependant la majorité des Etasunien ne soutiennent pas le remplacement de gènes avant la naissance. La modification d'embryon avant la naissance à visée curative était approuvée entre 26 et 49 % selon les études. Là aussi, l'opposition était la plus élevée pour changer les gènes afin d'améliorer l'intelligence ou l'apparence.

Dans l'enquête du *CRÉDOC(115)* pour *La Croix* et de *France Télévisions*, 60 % des Français pensaient qu'il était souhaitable que l'on puisse greffer un bras robotisé sur un corps d'homme. Seulement 14 % sont favorable à la greffer des composants électroniques sur le cerveau en vue d'améliorer ses performances et 12 % se disent prêts à consommer des médicaments pour améliorer leurs performances mentales, en dehors de tout problème de santé (2 % le faisant déjà).

### **1.10 Indice de pénétrance Transhumaniste**

Globalement les médecins avaient un IPT nul ou faible. Les hommes non croyants, tout comme les professions non cliniques avaient tendance à avoir des scores plus élevés. Nous pouvons effectivement comprendre que des personnes non croyantes aient une propension supérieure à souhaiter prolonger leur espérance de vie devant une acceptation de la mort sans doute plus difficile. Nous n'expliquons pas la tendance des hommes, ni des professions non cliniques à être plus ouvert à ces concepts.

### **1.11 Critique**

La sur-représentativité de la participation des associations d'internes dans la diffusion de notre questionnaire par rapport aux autres institutions est certainement responsable de l'inégalité de

constitution de nos groupes d'âge. Nous n'expliquons pas la sur-représentativité des femmes dans notre étude, il se pourrait que ce soit la conséquence de la jeunesse de notre population et de la « féminisation » des professions médicales.

Cette étude s'applique à établir une première évaluation de l'espérance de vie souhaitée d'un groupe donné. Le sondage que nous avons utilisé a été proposé par envoi courriel et les réponses étaient au bon vouloir des participants, ce qui implique un biais de sélection vis-à-vis de l'utilisation de cette technologie mais aussi du temps disponible. A la lecture des commentaires des participants il semble nécessaire aux participants de pouvoir nuancer leurs partis pris ou même de pouvoir ne pas se prononcer, ce que n'a pas permis notre étude. Un nombre important de participants auraient souhaité disposer de plus d'information sur les problématiques soulevées.

Le taux de réponses n'est pas connu, en effet il n'a pas été possible de savoir combien de médecins avaient reçu la proposition de participation au questionnaire.

### **1.12 Ouvertures**

Une étude qualitative par entretien individuel serait pertinente pour objectiver les déterminants socio-économiques, politiques et philosophique des choix relatifs aux valeurs Transhumanistes et au choix de l'espérance de vie en bonne santé.

Il serait intéressant de reproduire cette étude dans une décennie afin d'évaluer la modification de la pénétrance des valeurs Transhumanistes et les perspectives de modification de l'espérance de vie, afin de réaliser une comparaison au cours du temps.

### **1.13 Réflexions**

En 2003, le Comité de Bioéthique des États-Unis fondait le concept de l'*Human enhancement*. S'opposaient alors deux conceptions de la médecine, l'une qui soigne, s'attache à la prévention et à la réadaptation, la seconde qui s'inscrit dans le dépassement des limites humaines et dans le déni du vieillissement.

La finalité du transhumanisme est l'amélioration à l'infini, la modification illimitée du corps, son augmentation continue en concordance avec les progrès de la technologie. Ce projet dépasse le champ de l'optimisation de la santé, pour aller vers une quête sans limites de la performance et de capacités physico-cognitives hors normes.

Avec le Transhumanisme, c'est également le rapport à la mort et donc la conception même de l'humanité qui risque d'être remis en question. L'immortalité participait jusqu'ici du mythe et du religieux, dans le rapport que l'homme entretient avec l'inconnu et le sacré. Quelle place pour la spiritualité à l'heure où certains rêvent d'immortalité ?

Le projet Transhumaniste, tel qu'il s'affiche aujourd'hui, apparaît comme un projet individualiste. Ce que revendiquent les Transhumanistes, c'est la liberté absolue d'utiliser pour eux-mêmes tout ce qui, en termes scientifiques et technologiques, leur permettrait d'être « augmentés ». Il n'est plus question ici de progrès social, de l'idéal de perfectibilité des Lumières, pour lequel l'émancipation repose avant tout sur l'amélioration des conditions de vie sociale et politique. Seule semble prévaloir une visée individualiste de la performance.

L'homme transformé par la technologie reste-t-il humain ? Jusqu'où peut-on transformer l'Humain sans qu'il perde son humanité ? Comment garantir que l'utilisation des technologies prônées par le transhumanisme se fera dans le respect des principes de Liberté, et d'Égalité ?

L'Organisation Mondiale de la Santé définit la santé comme un état de bien-être complet physique, mental et social et non comme une absence de maladie ou d'infirmité. L'épanouissement social d'un individu et donc sa santé nécessitera-t-il de modifier en profondeur et durablement son identité humaine ?

Le droit d'interruption volontaire de grossesse, en 1976, est l'un des marqueurs de l'émancipation de la femme. C'est également une des premières transgressions entre les soins et le bien-être social.

Quelle sera la place du médecin dans un monde où le patient ne sera plus en quête de soins, mais d'amélioration ? Quelle sera alors le rôle du médecin : l'orientation, le conseil, le refus, le libre arbitre ? Y a-t-il d'ailleurs un avenir pour la médecine dans un monde où des robots opèrent, ou des algorithmes interprètent et décident ? Quelle place pour l'individu-médecin lorsqu'il s'agira de prendre en compte l'intégralité du génome d'un individu pour lui proposer des thérapies ciblées ? Enfin, comment se comporteront les futurs algorithmes médicaux, seront-ils capables eux aussi d'établir ce que l'on nomme l'alliance thérapeutique qui est le ciment de la relation médecin patient.

## Conclusion

---

78,97 % des médecins interrogés souhaitaient avoir une espérance de vie supérieure à la limite de 85 ans qui représente l'espérance de vie maximale en France, en 2015. Cependant, ce choix d'année de vie en plus était limité, avec des pics de choix pour des EdV de 90 ans à 13,04 % et 100 à 26,25 %. Le projet Transhumaniste, d'atteindre la senescence négligeable ou l'immortalité réelle avec une EdV de 10 000 ans a été choisi par 8,21 % d'entre eux.

Globalement les médecins interrogés étaient ouverts aux concepts Transhumanistes lorsqu'il s'agit de les appliquer aux soins, avec une acceptabilité de 90,78 %. Néanmoins, ils exprimaient une plus grande réticence lorsqu'il était question de modification du génome. Il existe une dichotomie franche, lorsqu'il s'agissait d'utiliser les mêmes avancées techniques dans une optique de mélioratif pur. En effet globalement, les médecins étaient favorables à *l'human enhancement* à seulement 14,91 % avec, là aussi une plus grande réticence en ce qui concerne la modification du génome d'enfant en bonne santé.

# ANNEXE

---

## 1. Annexe 1 : Déclaration Transhumaniste

---

The transhumanist Reader, Edited by Max More and Natasha Vita-More

This edition first published 2013 © 2013 John Wiley & Sons, Inc ISBN 978-1-118-33431-7

**1.** Humanity stands to be profoundly affected by science and technology in the future. We envision the possibility of broadening human potential by overcoming aging, cognitive shortcomings, involuntary suffering, and our confinement to planet Earth.

**2.** We believe that humanity's potential is still mostly unrealized. There are possible scenarios that lead to wonderful and exceedingly worthwhile enhanced human conditions.

**3.** We recognize that humanity faces serious risks, especially from the misuse of new technologies. There are possible realistic scenarios that lead to the loss of most, or even all, of what we hold valuable. Some of these scenarios are drastic, others are subtle. Although all progress is change, not all change is progress.

**4.** Research effort needs to be invested into understanding these prospects. We need to carefully deliberate how best to reduce risks and expedite beneficial applications. We also need forums where people can constructively discuss what could be done and a social order where responsible decisions can be implemented.

**5.** Reduction of risks of human extinction, and development of means for the preservation of life and health, the alleviation of grave suffering and the improvement of human foresight and wisdom, be pursued as urgent priorities and generously funded.

**6.** Policy making ought to be guided by responsible and inclusive moral vision, taking seriously both opportunities and risks, respecting autonomy and individual rights, and showing solidarity with and concern for the interests and dignity of all people around the globe. We must also consider our moral responsibilities towards generations that will exist in the future.

**7.** We advocate the well-being of all sentience, including humans, non-human animals, and any future artificial intellects, modified life forms, or other intelligences to which technological and scientific advance may give rise.

**8.** We favor morphological freedom – the right to modify and enhance one's body, cognition, and emotions. This freedom includes the right to use or not to use techniques and technologies to extend life, preserve the self through cryonics, uploading, and other means, and to choose further modifications and enhancements.

The "Transhumanist Declaration" has been modified over the years by several organizations and individuals, although there is little record of the specific modifications and their respective authors.

Nevertheless, the original "Transhumanist Declaration" was crafted in 1998 by, in alphabetical order: Alexander Sasha Chislenko, Anders Sandberg, Arjen Kamphuis, Bernie Staring, Bill Fantegrossi, Darren Reynolds, David Pearce, Den Otter, Doug Bailey, Eugene Leitl, Gustavo Alves, Holger Wagner, Kathryn Aegis, Keith Elis, Lee Daniel Crocker, Max More, Mikhail Sverdloy, Natasha Vita-More, Nick Bostrom, Ralf Fletcher, Shane Spaulding, T.O. Morrow, Thom Quinn

---

## 2. Annexe 2 : liste des pathologie, phénotype et profil de réponse aux traitement dépistés par 23andMe

---

### **Inherited Conditions (43)**

The reports in this category tell you if you have genetic variants that have been linked to recessive conditions. Recessive conditions occur when a person has two variants for that condition, one inherited from each parent. A person with just one variant for these conditions is known as a carrier. Carriers do not have the condition, but they can pass a variant to their children.

#### [ARSACS](#)

[Agensis of the Corpus Callosum with Peripheral Neuropathy \(ACCPN\)](#)

[Autosomal Recessive Polycystic Kidney Disease](#)

[Beta Thalassemia](#)

[Bloom's Syndrome](#)

[Canavan Disease](#)

[Congenital Disorder of Glycosylation Type 1a \(PMM2-CDG\)](#)

[Connexin 26-Related Sensorineural Hearing Loss](#)

[Cystic Fibrosis](#)

[D-Bifunctional Protein Deficiency](#)

[DPD Deficiency](#)

[Dihydrolipoamide Dehydrogenase Deficiency](#)

[Familial Dysautonomia](#)

[Familial Hyperinsulinism \(ABCC8-related\)](#)

[Familial Mediterranean Fever](#)

[Fanconi Anemia \(FANCC-related\)](#)

[G6PD Deficiency](#)

[GRACILE Syndrome](#)

[Gaucher Disease](#)

[Glycogen Storage Disease Type 1a](#)

[Glycogen Storage Disease Type 1b](#)

[Hereditary Fructose Intolerance](#)

[Junctional Epidermolysis Bullosa \(LAMB3-related\)](#)

[Leigh Syndrome, French Canadian Type \(LSFC\)](#)

[Limb-girdle Muscular Dystrophy](#)

[Maple Syrup Urine Disease Type 1B](#)

[Medium-Chain Acyl-CoA Dehydrogenase \(MCAD\) Deficiency](#)

[Mucopolidosis IV](#)

[Neuronal Ceroid Lipofuscinosis \(CLN5-related\)](#)

[Neuronal Ceroid Lipofuscinosis \(PPT1-related\)](#)

[Niemann-Pick Disease Type A](#)

[Nijmegen Breakage Syndrome](#)

[Pendred Syndrome](#)

[Primary Hyperoxaluria Type 2 \(PH2\)](#)

[Rhizomelic Chondrodysplasia Punctata Type 1 \(RCDP1\)](#)

[Salla Disease](#)

[Sickle Cell Anemia](#)

[Sjögren-Larsson Syndrome](#)

[Tay-Sachs Disease](#)

[Tyrosinemia Type I](#)

[Usher Syndrome Type I \(PCDH15-related\)](#)

[Usher Syndrome Type III](#)

[Zellweger Syndrome Spectrum](#)

---

### **Genetic Risk Factors (11)**

These reports tell you if you have genetic variants that are risk factors for various health conditions. Most of the time, having just one variant can be linked to higher risk for the condition.

[Alpha-1 Antitrypsin Deficiency](#)

[Alzheimer's Disease \(APOE Variants\)](#)

[Early-Onset Primary Dystonia \(DYT1-TOR1A-Related\)](#)

[Factor XI Deficiency](#)

[Familial Hypercholesterolemia Type B \(APOB-Related\)](#)

[Familial Transthyretin \(TTR\) Amyloidosis](#)

[Hereditary Breast and Ovarian Cancer Syndrome \(BRCA1- and BRCA2-Related, Selected Mutations\)](#)

[Hereditary Hemochromatosis \(HFE-Related\)](#)

[Hypertrophic Cardiomyopathy \(MYBPC3 25-base-pair Deletion\)](#)

[Inherited Thrombophilia \(Factor V Leiden- and Prothrombin-Related\)](#)

[Parkinson's Disease \(LRRK2- and GBA-Related\)](#)

## Traits (41)

These reports tell you about genetic variants that may influence different non-health related traits. Keep in mind that many traits are influenced by multiple factors. Traits may be influenced to varying degrees by genetics and the environment. This category includes noticeable traits like eye colour as well as subtle traits like timing of a person's first tooth.

[Alcohol Flush Reaction](#)

[Asparagus Metabolite Detection](#)

[Birth Weight](#)

[Bitter Taste Perception](#)

[Blond Hair](#)

[Breast Morphology](#)

[Caffeine Consumption](#)

[Caffeine Metabolism](#)

[Childhood and Adolescent Growth](#)

[Cilantro \(Coriander\) Aversion](#)

[Earwax Type](#)

[Eye Color](#)

[Eye Color: Preliminary Research](#)

[Finger Length Ratio](#)

[Freckling](#)

[Hair Curl](#)

[Hair Curl: Preliminary Research](#)

[Hair Thickness](#)

[Height](#)

[Hypospadias](#)

[Iris Patterns](#)

[Lactose Intolerance](#)

[Male Pattern Baldness](#)

[Male Pattern Baldness: Preliminary Research](#)

[Measures of Obesity](#)

[Memory](#)

[Menarche](#)

[Menopause](#)

[Muscle Performance](#)

[Nearsightedness and Farsightedness](#)

[Norovirus Resistance](#)

[Odor Detection](#)

[Pain Sensitivity](#)

[Photic Sneeze Reflex](#)

[Red Hair](#)

[Response to Diet](#)

[Response to Exercise](#)

[Sensitivity to the Sound of Chewing \(Misophonia\)](#)

[Smoking Behavior](#)

[Sweet Taste Preference](#)

[Tooth Development](#)

---

## Drug Response (12)

These reports provide information about how you may respond to various drugs based on specific genetic variants. These reports may tell you how effective a drug may be, how sensitive you may be to a drug or how likely you are to have certain side effects based on your genetics.

[Abacavir Hypersensitivity](#)

[Acetaldehyde Toxicity](#)

[Clopidogrel \(Plavix®\) Efficacy \(CYP2C19-related\)](#)

[Fluorouracil Toxicity](#)

[Hepatitis C Treatment Response](#)

[Phenytoin Sensitivity \(Epilepsy Drug\)](#)

[Proton Pump Inhibitor \(PPI\) Metabolism \(CYP2C19-related\)](#)

[Pseudocholinesterase Deficiency](#)

[Simvastatin-Induced Myopathy](#)

[Sulfonylurea Metabolism](#)

[Thiopurine Methyltransferase Activity](#)

[Warfarin \(Coumadin®\) Sensitivity](#)

---

Source : <https://www.23andme.com/en-gb/health/reports/>

### 3. Annexe 3 : Résultats de l'étude "Public attitudes about Gene Therapy or Gene Editing"

Table 1. Public Attitudes about Gene Therapy or Gene Editing, 1986–2016.

Question	Poll (Year)	Percent Affirmative
<b>Attitudes about gene therapy and gene editing in adults and children</b>		
To improve health of the person being treated		
Approve of genetic engineering to cure a disease	Time-CNN-Yankelovich (1993)	79
If it is possible to cure people with fatal diseases by altering their genes, do you feel those people ought to be allowed to do this?	Troika-Lifetime-PSRA (1991)	65
Approve of scientists changing the make-up of human cells to cure a usually fatal genetic disease	March of Dimes-Harris (1992)	87
	OTA-Harris (1986)	83
Approve of scientists changing the make-up of human cells to reduce the risk of developing a fatal disease later in life	March of Dimes-Harris (1992)	78
	OTA-Harris (1986)	77
Government funding and regulation of gene therapy		
Federal government should fund scientific research on developing new gene-therapy treatments	STAT-HSPH-SSRS (2016)	64
FDA should approve gene-therapy treatments for use in the United States	STAT-HSPH-SSRS (2016)	59
To improve health inherited by child		
Approve of parents being offered a way to change their own genes to prevent their children from having a genetic disease	Hopkins-PSRA (2002)	59
Approve of scientists changing the make-up of human cells to stop children from inheriting a usually fatal genetic disease	March of Dimes-Harris (1992)	84
	OTA-Harris (1986)	84
Approve of scientists changing the make-up of human cells to stop children from inheriting a nonfatal birth defect	March of Dimes-Harris (1992)	66
	OTA-Harris (1986)	77
If you had a child with a usually fatal genetic disease, willing to have child undergo therapy to have those genes corrected	March of Dimes-Harris (1992)	88
	OTA-Harris (1986)	86
To improve intelligence, physical traits, or appearance		
Approve of genetic engineering to improve a person's intelligence	Time-CNN-Yankelovich (1993)	34
Approve of scientists changing the make-up of human cells to improve the intelligence level that children would inherit	March of Dimes-Harris (1992)	42
	OTA-Harris (1986)	44
Approve of genetic engineering to improve a person's physical appearance	Time-CNN-Yankelovich (1993)	25
Approve of scientists changing the make-up of human cells to improve the physical characteristics that children would inherit	March of Dimes-Harris (1992)	43
	OTA-Harris (1986)	44
Approve of parents being offered a way to change their own genes to have children who would be smarter, stronger, or better looking	Hopkins-PSRA (2002)	20
Approve if scientists offered parents a way to change their genes in order to have smarter or better-looking children	Family Circle-PSRA (1994)	10
<b>Attitudes about changing human genes before birth</b>		
To improve future health		
Changing the genes of unborn babies to reduce their risk of developing certain serious diseases should be legal	STAT-HSPH-SSRS (2016)	26
Changing a baby's genetic characteristics to reduce the risk of serious diseases is an appropriate use of medical advances	Pew (2014)	46
	VCU (2003)	41
If future science developed the ability to change a child's inherited characteristics by changing the child's genetic structure in the womb and you were making the decision, would consider doing so to improve his/her general physical health	ABC (1990)	49
To improve intelligence, physical traits, or appearance		
Changing the genes of unborn babies to improve their intelligence or physical characteristics should be legal	STAT-HSPH-SSRS (2016)	11
Changing a baby's genetic characteristics to make the baby more intelligent is an appropriate use of medical advances	Pew (2014)	15
If future science developed the ability to change a child's inherited characteristics by changing the child's genetic structure in the womb and you were making the decision, would consider doing so to improve his/her intelligence	ABC (1990)	28
If future science developed the ability to change a child's inherited characteristics by changing the child's genetic structure in the womb and you were making the decision, would consider doing so to improve his/her body characteristics such as height and weight	ABC (1990)	13
If future science developed the ability to change a child's inherited characteristics by changing the child's genetic structure in the womb and you were making the decision, would consider doing so to improve his/her hair or eye color or facial characteristics	ABC (1990)	8
Government funding of research		
Federal government should fund scientific research on changing the genes of unborn babies to reduce their risk of developing certain diseases	STAT-HSPH-SSRS (2016)	44
Federal government should fund scientific research on changing the genes of unborn babies that aims to improve their characteristics such as intelligence or physical traits such as athletic ability or appearance	STAT-HSPH-SSRS (2016)	14

#### 4. Annexe 4 : Espérance de vie à divers âges, France métropolitaine

##### Espérance de vie à divers âges en 2016

en années

Année	Espérance de vie des hommes						Espérance de vie des femmes					
	à 0 an	à 1 an	à 20 ans	à 40 ans	à 60 ans	à 65 ans	à 0 an	à 1 an	à 20 ans	à 40 ans	à 60 ans	à 65 ans
<b>2016 (p)</b>	79,3	78,7	59,9	40,7	23,2	19,4	85,4	84,7	65,8	46,2	27,6	23,3
<b>2015 (p)</b>	79,0	78,3	59,6	40,4	22,9	19,1	85,1	84,4	65,6	45,9	27,4	23,0
<b>2014 (p) y c. Mayotte</b>	79,2	78,5	59,8	40,6	23,1	19,3	85,4	84,7	65,8	46,2	27,7	23,3
<b>2014 (p) hors Mayotte</b>	79,2	78,5	59,8	40,6	23,1	19,3	85,4	84,7	65,8	46,2	27,7	23,3
<b>2013</b>	78,7	78,1	59,3	40,1	22,8	19,0	85,0	84,3	65,5	45,9	27,4	23,0
<b>2012</b>	78,5	77,8	59,0	39,9	22,6	18,8	84,8	84,1	65,3	45,7	27,2	22,8
<b>2011</b>	78,4	77,7	59,0	39,9	22,7	18,9	85,0	84,3	65,4	45,8	27,4	23,0
<b>2010</b>	78,0	77,3	58,6	39,5	22,4	18,6	84,6	83,9	65,1	45,5	27,1	22,7
<b>2009</b>	77,7	77,1	58,3	39,3	22,2	18,4	84,4	83,7	64,9	45,3	27,0	22,6
<b>2008</b>	77,6	76,9	58,2	39,1	22,0	18,2	84,3	83,6	64,8	45,2	26,8	22,5
<b>2007</b>	77,4	76,7	58,0	39,0	21,9	18,1	84,4	83,6	64,8	45,3	26,9	22,5
<b>2006</b>	77,1	76,5	57,8	38,8	21,8	18,0	84,2	83,5	64,7	45,1	26,7	22,4

p : données provisoires arrêtées à fin 2016.

Champ : France hors Mayotte jusqu'en 2014 et y compris Mayotte à partir de 2014.

Source : Insee, estimations de population et statistiques de l'état civil .

Source : [http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?ref\\_id=bilan-demo&reg\\_id=0&page=donnees-detaillees/bilan-demo/pop\\_age3d.htm](http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?ref_id=bilan-demo&reg_id=0&page=donnees-detaillees/bilan-demo/pop_age3d.htm)

## 5. Annexe 5 : EDV et EVSI selon l'EHLEIS de l'Union Européenne.

Espérance de vie sans incapacité (EVSI) dans l'Union européenne - Femmes - EHLEIS Release April 19, 2012									
PAYS/ /ANNEE	Espérance de vie (années)			EVSI (années)			Proportion EVSI/EV (%)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Autriche	83.3	83.2	83.5	59.7	60.8	60.7	71.6	73.0	72.6
Belgique	82.6	82.8	:	64.2	63.7	:	77.8	76.9	:
Bulgarie	77.0	77.4	77.4	65.7	65.9	67.2	85.2	85.1	86.9
Chypre	83.1	83.7	:	65.5	66.4	:	78.8	79.4	:
Rép. tchèque	80.5	80.5	80.9	63.4	62.7	64.6	78.8	77.8	79.8
Danemark	81.0	81.1	81.4	61.0	60.3	61.9	75.3	74.4	76.0
Estonie	79.5	80.2	80.8	57.5	59.2	58.1	72.3	73.8	72.0
Finlande	83.3	83.5	83.5	59.5	58.3	57.8	71.4	69.9	69.2
France	84.8	85.0	85.3	64.6	63.3	63.5	76.1	74.4	74.4
Allemagne	82.7	82.8	83.0	57.7	58.0	58.6	69.8	70.1	70.6
Grèce	82.3	82.7	82.8	66.1	66.7	67.6	80.3	80.7	81.7
Hongrie	78.3	78.4	78.6	58.3	58.3	58.6	74.5	74.3	74.6
Irlande	82.4	82.5	83.2	65.0	65.1	66.9	78.8	79.0	80.4
Italie	84.5	84.6	:	61.9	62.5	:	73.2	73.9	:
Lettonie	77.8	78.0	78.4	54.6	56.1	56.5	70.2	71.8	72.1
Lituanie	77.6	78.7	78.9	59.9	61.1	62.3	77.2	77.7	79.0
Luxembourg	83.1	83.3	83.5	64.4	66.2	66.0	77.5	79.4	79.0
Malte	81.9	82.7	83.6	72.1	71.0	71.6	88.0	85.8	85.7
Pays Bas	82.5	82.9	83.0	59.9	60.0	60.2	72.7	72.4	72.6
Pologne	80.0	80.1	80.7	63.0	62.5	62.2	78.7	77.9	77.1
Portugal	82.4	82.6	82.8	57.6	56.2	56.6	69.9	68.0	68.4
Romanie	77.2	77.4	:	62.8	61.7	:	81.4	79.7	:
Rép. slovaque	79.0	79.1	79.3	52.6	52.6	52.1	66.6	66.5	65.7
Slovénie	82.6	82.7	83.1	60.8	61.3	b	73.7	74.2	b
Espagne	84.5	84.9	85.3	63.6	62.3	63.7	75.3	73.4	74.7
Suède	83.3	83.5	83.6	69.0	69.6	71.0	82.9	83.3	84.9
Royaume uni	81.9	82.5	:	66.3	66.0	:	81.0	80.1	:
UE27	82.4	82.6	:	62.2	62.0	:	75.5	75.0	:

a: Les valeurs des EV et EVSI peuvent être légèrement différentes entre EHLEIS et EUROSTAT (+/- 0,1) à cause d'un changement récent dans la méthode de calcul de l'EV utilisée par EUROSTAT. EHLEIS va introduire cette modification.

b: Les prévalences du GALI doivent être vérifiées en Slovénie car les valeurs de 2010 sont très différentes des précédentes.

Espérance de vie sans incapacité (EVSI) dans l'Union européenne - Hommes - EHLEIS Release April 19, 2012									
PAYS/ /ANNEE	Espérance de vie (années)			EVSI (années)			Proportion EVSI/EV (%)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Autriche	77.8	77.6	77.9	58.3	59.5	59.3	75.0	76.7	76.1
Belgique	76.9	77.3	:	63.3	64.0	:	82.3	82.8	:
Bulgarie	69.8	70.1	70.2	62.1	62.1	63.0	89.0	88.6	89.7
Chypre	78.5	78.7	:	64.5	65.3	:	82.1	83.0	:
Rép. tchèque	74.1	74.2	74.5	61.2	61.1	62.2	82.7	82.3	83.5
Danemark	76.5	76.9	77.2	62.1	61.3	62.3	81.1	79.7	80.7
Estonie	68.7	69.8	70.7	53.0	55.2	54.0	77.2	79.1	76.4
Finlande	76.5	76.6	76.9	58.6	58.1	58.5	76.7	75.8	76.0
France	77.8	78.0	78.2	62.7	62.7	61.9	80.6	80.4	79.1
Allemagne	77.6	77.8	78.0	56.3	57.1	57.9	72.6	73.4	74.3
Grèce	77.7	77.8	78.4	65.8	66.0	66.4	84.7	84.9	84.7
Hongrie	70.0	70.3	70.7	54.8	55.8	56.4	78.4	79.4	79.7
Irlande	77.8	77.4	78.7	63.5	63.6	65.9	81.6	82.2	83.8
Italie	79.1	79.4	:	63.0	63.4	:	79.6	79.9	:
Lettonie	67.0	68.1	68.6	51.8	52.8	53.5	77.3	77.5	78.0
Lituanie	66.3	67.5	68.0	54.8	57.3	57.7	82.7	84.9	85.0
Luxembourg	78.1	78.1	77.9	64.8	65.5	64.5	83.0	83.9	82.8
Malte	76.9	77.8	79.1	68.9	69.6	70.2	89.6	89.4	88.6
Pays Bas	78.4	78.7	78.9	62.4	61.7	61.1	79.6	78.5	77.4
Pologne	71.3	71.5	72.1	58.5	58.3	58.5	82.2	81.5	81.1
Portugal	76.2	76.5	76.7	59.1	58.2	59.2	77.6	76.0	77.1
Romanie	69.7	69.8	:	60.2	59.8	:	86.3	85.6	:
Rép. slovaque	70.8	71.4	71.7	52.1	52.4	52.3	73.5	73.4	73.0
Slovénie	75.5	75.9	76.4	59.5	60.5	b	78.7	79.7	b
Espagne	78.2	78.7	79.0	64.1	62.8	64.3	81.9	79.8	81.3
Suède	79.2	79.4	79.6	69.4	70.7	71.7	87.6	89.0	90.0
Royaume uni	77.8	78.3	:	65.0	65.1	:	83.5	83.1	:
UE27	76.4	76.7	:	61.1	61.3	:	80.0	79.9	:

## 6. Annexe 6 : Questionnaire

**1. Pensez-vous que les femmes devraient avoir le droit d'interrompre une grossesse ? \***

Oui

Non

**2. Croyez-vous que les parents devraient pouvoir choisir : \***

	Oui	Non
le <b>sexe</b> de leurs enfants ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
l' <b>intelligence</b> de leurs enfants ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d' <b>exclure</b> certaines <b>caractéristiques pathologiques</b> chez leurs enfants ? (Ex: Drépanocytose, Diabète de type 1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
des caractéristiques <b>non pathologiques</b> (autres que le sexe et l'intelligence) chez leurs enfants ? (Ex: Couleur des yeux, taille, morphologie, ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**3. Êtes-vous favorable à recherche sur les cellules-souches à visé curative de pathologie ? \***

(Ex : Mucoviscidose, réparer une moelle épinière...)

Oui

Non

**4. A propos de la recherche sur les cellules souches dans le but de repousser les limites de l'espérance de vie de l'être humain en bonne santé ? \***

Je suis favorable

Je suis défavorable

5. Êtes-vous favorable ou défavorable à propos de l'utilisation dans l'organisme humain de :

\*

	Favorable	Défavorable
Prothèse <b>sensorielle</b> pour un humain <b>déficiant</b> ? (ex: implant cochléaire déficient auditif, bio-prothèse d'oeil,...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prothèse <b>sensorielle</b> pour un humain <b>non déficient</b> ? (ex: augmenter sa vue, percevoir l'infrarouge,...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prothèse d' <b>organe</b> chez un <b>insuffisant</b> ? (ex : cœur mécanique, pancréas artificiel,...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prothèse de membre chez un <b>amputé</b> ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Vous êtes, concernant l'utilisation d'implants cérébraux électroniques :

\*

	Favorable	Défavorable
à visée curative de <b>maladies neurodégénératives</b> ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
à visée curative de <b>maladies psychiatriques</b> ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
afin de <b>contrôler</b> un mécanisme chez un <b>déficiant</b> ? (ex: bouger une souris d'ordinateur pour un tétraplégique)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
afin de <b>contrôler</b> un mécanisme chez un <b>non déficient</b> ? (ex: aller sur internet, téléphoner,...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**7. Concernant la possibilité de télécharger votre conscience dans un ordinateur s'il s'agissait de l'unique moyen pour vous de demeurer conscient ? \***

Je serais favorable

Je serais défavorable

---

**8. Concernant la possibilité d'être cryogénisé puis réanimé plus tard s'il s'agissait du seul moyen de continuer à vivre ? \***

Je serais favorable

Je serais défavorable

---

**9. Est-ce que votre éthique défendrait l'égalité en droit des Humains et posthumains\* ? \***

*\*Posthumain : humain modifié génétiquement, humain porteur de bio-prothèses et bio-implants cérébraux, esprit humain téléchargé dans un ordinateur.*

Oui

Non

---

**10. Est-ce que votre éthique défendrait l'égalité en droit des Humains et d'une intelligence artificielle sensible et consciente ? \***

Oui

Non

---

**11. Seriez-vous favorable ou défavorable concernant la technologie du clonage pour: \***

	Favorable	Défavorable
produire un organe afin de soigner un individu malade ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
produire un clone complet inconscient afin de soigner un individu malade ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
produire un corps de remplacement pour y transférer votre conscience.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Seriez-vous favorable à l'utilisation d'**incubateur** à la place de la grossesse d'une femme ne présentant **pas de pathologie** pour la **gestation complète** des 41 semaines d'aménorrhée d'un **enfant** ? \*

Je suis favorable

Je suis défavorable

13. Vous seriez favorable ou défavorable, concernant la **modification du génome** humain : \*

	Favorable	Défavorable
à visée <b>curative</b> ? <i>(Ex : rendre l'humain résistant aux VIH ou au paludisme, supprimer le diabète de type 2)</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
à visée <b>avantageuse</b> ou modificatrice ? <i>(Ex : voir la nuit, percevoir des ultra/infrason, ...)</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 7. Annexe 7 : Liste des Hôpitaux, clinique et Association contacté

Contact	Réponse
<b>Conseil de l'Ordre des Médecin.</b>	
<b>Conseil national de l'Ordre</b>	Refusé
Conseil régional de l'Ordre d'Ile de France	Refusé
Conseil régional de l'Ordre Champagne Ardenne	En attente
Conseil régional de l'Ordre de Picardie	En attente
Conseil régional de l'Ordre Haute Normandie	En attente
Conseil régional de l'Ordre Centre Val de Loire	En attente
Conseil régional de l'Ordre Basse Normandie	En attente
Conseil régional de l'Ordre de Bourgogne	En attente
Conseil régional de l'Ordre Nord pas de Calais	En attente
Conseil régional de l'Ordre de lorraine	En attente
Conseil régional de l'Ordre d'Alsace	En attente
Conseil régional de l'Ordre de Franche Comte	En attente
Conseil régional de l'Ordre Pays de la Loire	En attente
Conseil régional de l'Ordre Bretagne	En attente
Conseil régional de l'Ordre Poitou Charente	En attente
Conseil régional de l'Ordre Aquitaine	En attente
Conseil régional de l'Ordre Midi Pyrénées	En attente
Conseil régional de l'Ordre Limousin	En attente
Conseil régional de l'Ordre des Rhône-Alpes	En attente
Conseil régional de l'Ordre d'Auvergne	En attente
Conseil régional de l'Ordre Languedoc-Roussillon	En attente
Conseil régional de l'Ordre de PACA	En attente
Conseil régional de l'Ordre de Corse	En attente
<b>Agences Régionales de Santé</b>	
Agences Régionales de Santé de Bretagne	En attente
Agences Régionales de Santé du Centre-Val de Loire	En attente
Agences Régionales de Santé de Corse	En attente
Agences Régionales de Santé du Grand Est	En attente
Agences Régionales de Santé d'Ile-de-France	En attente
Agences Régionales de Santé de Normandie	En attente
Agences Régionales de Santé de Nouvelle-Aquitaine	En attente
Agences Régionales de Santé d'Occitanie	En attente
Agences Régionales de Santé des Pays de la Loire	En attente
Agences Régionales de Santé de Provence Alpes-Côte d'Azur	En attente
<b>Centre Hospitalier Universitaire</b>	
CHU d'Amiens	En attente
CHU d'Angers	En attente
CHU de Besançon	Refusé
CHU Bordeaux	En attente
CHU de Brest	En attente
CHU de Caen	En attente
CHU Clermont-Ferrand	En attente
CHU Dijon Bourgogne	En attente

CHU Grenoble Alpes	En attente
CHU de la Réunion	En attente
CHU de Lille	En attente
CHU de Limoges	En attente
Hospices Civile de Lyon	En attente
Assistance Publique Hopitaux de Marseille	En attente
CHR Metz-Thionville	En attente
CHU de Montpellier	En attente
CHU de Nancy	En attente
CHU de Nantes	Positif
CHU de Nice	En attente
CHU Nîmes	En attente
CHR Orléans	En attente
Assistance Publique Hôpitaux de Paris	En attente
CHU de Poitiers	En attente
CHU Reims	En attente
CHU Rennes	En attente
CHU de Rouen	En attente
CHU Saint-Etienne	En attente
CHU Strasbourg	En attente
CHU Toulouse	En attente
CHU Saint Denis de la Réunion	Positif
CHU Tours	En attente
<b>Université de Médecine</b>	
Université Amiens	En attente
Université Besançon	En attente
Université Caen	En attente
Université Clermont Ferrand 1	Refusé
Université Dijon	En attente
Université Grenoble	En attente
Université Lille 2	En attente
Université Limoge	En attente
Université Lyon 1	En attente
Université Lorraine	Refusé
Université Aix-Marseille	Refusé
Université Nantes	En attente
Université Nice	En attente
Université Poitiers	En attente
Université Rouen	En attente
Université Rennes 1	En attente
Université Strasbourg	En attente
Université Saint-Etienne	En attente
Université Tours	En attente
<b>Centres de Recherche</b>	
Centre de recherche en Neurosciences de Lyon (INSERM)	En attente
Centre d'Etude et de Recherche d'Information Médicale (CERIM)	En attente

Institue Universitaire de Cancerologie de Toulouse	En attente
INSERM	Refusé
Fondation pour la Recherche Médicale	Refusé
<b>Syndicat de d'interne</b>	
Intersyndicat National des Interne	En attente
Syndicat des Internes des Hôpitaux de Paris	Refusé
Syndicat Représentatif des internes de Paris en Médecine Générale	En attente
Association des Interne de Tours	Positif
Bureau des Internes de Picardie / Interne à Amien	En attente
Association des internes et chefs de clinique de Besançon	Positive
Syndicat Autonomes des Internes en Exercies des Hôpitaux de Clermont-Ferrand	Positive
Association des internes des Hôpitaux de Bordeaux	transfert
Syndicat Autonome des Internes des Hospices Civils de Strasbourg	En attente
Bureau des internes de Brest	En attente
Syndicat des Internes Bas Normands	En attente
Internat des Hôpitaux de Toulouse	En attente
Internes de Haute Normandie Orphéon	En attente
Association des Internes des Hôpitaux de Dijon	En attente
internat de Grenoble	En attente
Association des Internes en Exercice des Hôpitaux de Lille	Positive
Association des Interne des Hôpitaux de Limoge	En attente
Syndicat Autonome des Internes des Hôpitaux de Lyon	En attente
Syndicat Autonome des Internes des Hôpitaux de Marseille	En attente
Syndicat des Internes du Languedoc-Roussillon	En attente
Association des Internes de Nancy	En attente
Syndicat Autonome des Internes des Hôpitaux de Nantes	En attente
Internat des Hôpitaux de Nice	En attente
Interne Médecine Générale Poitier	Transfert
Association des internes de Médecine Générale de Lille	Positive
Interne de Médecine Générale de Clermont Ferrant	En attente
Syndicat des Internes et des Anciens Internes en Médecine de Poitiers	En attente
Comité des Internes de Reims Champagne Ardenne	Positive
Internat de Rennes	En attente
Association des Internes et Anciens Interne de Médecine et Pharmacie d'Anger	En attente
Association des Internes de Saint-Etienne	En attente
<b>Syndicat de Médecin</b>	
Syndicat des Médecin Libéraux	En attente
Le syndicat des Médecin Généraliste	En attente
Syndicat de la Médecine Générale	En attente
Syndicat National des Jeunes Médecin Généraliste	En attente
Syndicat National des Médecin Thermaux	En attente
Syndicat National des Médecins de L'Education National	En attente
Syndicat National des Médecin Biologiste	En attente
Syndicat des Médecins Ostéopathes	En attente
Syndicat National des Médecin Rhumatologues	En attente

Syndicat National des Médecin Scolaire et Universitaire	En attente
Syndicat National des Médecins Vasculaire	En attente
Association Française des Femmes Médecins	En attente
Médecins de Montagne	Refusé
Le Syndicat National des Médecins spécialisés en ORL et chirurgie Cervicale	En attente
Syndicat National des Médecins Hospitaliers	En attente
Syndicat National des Médecins du Sport Santé	En attente
Syndicat National des Gynécologue et Obstétricien de France	En attente
Syndicat des Anesthésiste Liberaux	En attente
Syndicat des médecins anesthésistes réanimateurs non universitaires	En attente
Inter Syndicat National des Chefs de Clinique Assistant des Hôpitaux de Villes	En attente
Syndicat national des anesthésistes réanimateurs de France	En attente
Syndicat National des Spécialistes des Maladies du Cœur et des Vaisseaux	En attente
Syndicat National des Dermatologues Vénérologues	En attente
Syndicat National de Gériatrie Clinique	En attente
Association des Internes en Hématologie	En attente
Société Française de Gériatrie et Gériatrie	En attente
UroFrance	En attente
Association Française de Psychiatrie	En attente
Union syndicale de la psychiatrie	En attente
Fédération Française de Pneumologie	En attente
Association des Jeunes Pneumologues	En attente
Association des Pneumologue Ile de France	En attente
Association nationale des Assistants et interne en neurologie française	En attente
Société Française de Neurochirurgie	En attente
Association des Neurologues Liberaux de Langue Française	En attente
Association Française des Psychiatres d'Exercice Privé	En attente
Société Française de Médecine Interne	Echec
Syndicat National des Ophtalmologiste Français	En attente
Syndicat Français de Médecine Physique et Réadaptative	En attente
Association des médecins urgentistes de France	Transfert
Sud santé sociaux	Echec
Syndicat national des psychiatres privés	En attente
Syndicat des praticiens des hôpitaux publics	En attente
Syndicat des psychiatres d'exercice public	En attente
Syndicat des psychiatres des hôpitaux	En attente
<b>Clinique et Hôpitaux Privés</b>	
Hôpital Privé des Côtes d'Armor	En attente
Centre Hospitalier privé Saint Grégoire	En attente
Polyclinique Grande Synthe	En attente
CH privé Saint-Martin, Caen	En attente
Polyclinique de Blois	En attente
Clinique Du Saint-Cœur Vendôme	En attente
Polyclinique Jean-Villar	En attente
Polyclinique du Parc, Périgeux	En attente
Clinique Médipôle Garonne	En attente

Clinique Ambroise-Paré	En attente
Clinique du Millénaire	En attente
Hôpital privé les Franciscaines	En attente
Clinique Wulfran-Puget	En attente
Polyclinique Vauban	En attente
Clinique Bergouignan	En attente

## 8. Annexe 8 : Liste des spécialités

Spécialité	Femme	Homme	Total	%
Anatomo-pathologie	4		4	0,71%
Anesthésie-réanimation	8	16	24	4,29%
Autre	18	15	33	5,89%
Biologie Médicale	6	6	12	2,14%
Cardiologie	2	6	8	1,43%
Chercheur		1	1	0,18%
Chirurgie Orthopédique	1	4	5	0,89%
Chirurgie Plastique et reconstructrice	2		2	0,36%
Chirurgie Viscérale	3	2	5	0,89%
Dermatologie-Vénérologie	7		7	1,25%
Endocrinologie et Diabétologie	5		5	0,89%
Gastroentérologie	3	2	5	0,89%
Génétique	2		2	0,36%
Gériatrie	5		5	0,89%
Gynécologie	12	2	14	2,50%
Médecine du Travail et Scolaire	3	1	4	0,71%
Médecine d'Urgence	16	24	40	7,14%
Médecine Générale	159	93	252	45,00%
Médecine Interne	7	10	17	3,04%
Médecine Légale	1		1	0,18%
Médecine Nucléaire	1		1	0,18%
Médecine Physique et Réadaptation	6	1	7	1,25%
Néphrologie		1	1	0,18%
Neurochirurgie		2	2	0,36%
Neurologie	6	3	9	1,61%
Oncologie	3	3	6	1,07%
Ophtalmologie	5	1	6	1,07%
Oto-rhino-laryngologie	2	5	7	1,25%
Pédiatrie	19	1	20	3,57%
Pneumologie	5	1	6	1,07%
Psychiatrie	10	13	23	4,11%
Radiologie	3	4	7	1,25%
Rhumatologie	4	1	5	0,89%
Santé Publique	3	2	5	0,89%
Stomatologie	1	3	4	0,71%
Urologie	2	3	5	0,89%
<b>Total</b>	<b>334</b>	<b>226</b>	<b>560</b>	

## 9. Annexe 9: Résultats détaillé du critère de jugement principales

	Sexe	Age	Spécialité	CJP		Sexe	Age	Spécialité	CJP
1	Homme	Tranche4	Médecine d'Urgence	0	281	Homme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	100
2	Femme	Tranche3	Biologie Médicale	0	282	Femme	Tranche2	Médecine Générale	100
3	Femme	Tranche3	Dermatologie	0	283	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100
4	Homme	Tranche2	Anesthésie-réanimation	25	284	Homme	Tranche4	Anesthésie-réanimation	100
5	Femme	Tranche1	Médecine Générale	55	285	Homme	Tranche3	Psychiatrie	100
6	Homme	Tranche1	Médecine Générale	60	286	Homme	Tranche3	Médecine Interne	100
7	Homme	Tranche1	Chercheur	60	287	Homme	Tranche2	Neurochirurgie	100
8	Femme	Tranche1	Pédiatrie	70	288	Femme	Tranche3	Autre	100
9	Femme	Tranche1	Médecine Générale	70	289	Homme	Tranche1	Autre	100
10	Homme	Tranche1	Radiologie	70	290	Homme	Tranche1	Urologie	100
11	Homme	Tranche1	Médecine Générale	70	291	Femme	Tranche1	Pneumologie	100
12	Homme	Tranche1	Chirurgie Orthopédique	70	292	Homme	Tranche1	Psychiatrie	100
13	Homme	Tranche1	Médecine Générale	70	293	Femme	Tranche1	MPR	100
14	Homme	Tranche1	Médecine Générale	70	294	Femme	Tranche4	Biologie Médicale	100
15	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	75	295	Femme	Tranche3	Pédiatrie	100
16	Femme	Tranche1	Rhumatologie	75	296	Femme	Tranche4	Anesthésie-réanimation	100
17	Femme	Tranche3	Médecine Interne	75	297	Femme	Tranche4	Gynécologie	100
18	Femme	Tranche2	Médecine Générale	75	298	Homme	Tranche4	Médecine Interne	100
19	Femme	Tranche1	Médecine générale	75	299	Femme	Tranche3	Gynécologie	100
20	Homme	Tranche5	Chirurgie Orthopédique	79	300	Homme	Tranche4	Médecine Générale	100
21	Femme	Tranche1	Médecine Générale	79	301	Femme	Tranche3	Médecine d'Urgence	100
22	Homme	Tranche1	Médecine Générale	79	302	Homme	Tranche4	Autre	100
23	Homme	Tranche2	Anesthésie-réanimation	79	303	Homme	Tranche1	Urologie	100
24	Homme	Tranche4	Médecine Générale	79	304	Homme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	100
25	Homme	Tranche1	Psychiatrie	79	305	Homme	Tranche4	Stomatologie	100
26	Homme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	80	306	Femme	Tranche1	Dermatologie-Vénérologie	100
27	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	307	Homme	Tranche3	Biologie Médicale	100
28	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	80	308	Femme	Tranche1	Endocrinologie	100
29	Femme	Tranche1	Psychiatrie	80	309	Homme	Tranche4	Chirurgie Viscérale	100
30	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	310	Femme	Tranche2	Pédiatrie	100
31	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	311	Homme	Tranche2	Médecine Interne	100
32	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	312	Femme	Tranche3	Médecine Interne	100
33	Femme	Tranche3	Gastroentérologie	80	313	Homme	Tranche3	Stomatologie	100
34	Homme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	80	314	Femme	Tranche1	Autre	100
35	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	80	315	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
36	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	316	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100

37	Femme	Tranche3	Autre	80	317	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100
38	Femme	Tranche1	Médecine Interne	80	318	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
39	Homme	Tranche2	Médecine Interne	80	319	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
40	Homme	Tranche1	Médecine Interne	80	320	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
41	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	321	Femme	Tranche1	Rhumatologie	100
42	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	322	Femme	Tranche1	Urologie	100
43	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	323	Femme	Tranche1	Psychiatrie	100
44	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	324	Homme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	100
45	Homme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	80	325	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
46	Femme	Tranche1	Neurologie	80	326	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
47	Femme	Tranche1	Autre	80	327	Femme	Tranche5	Oto-rhino-laryngologie	100
48	Homme	Tranche1	Autre	80	328	Homme	Tranche2	Psychiatrie	100
49	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	329	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
50	Femme	Tranche1	Autre	80	330	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
51	Homme	Tranche1	Autre	80	331	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
52	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	332	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
53	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	333	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
54	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	334	Femme	Tranche1	Neurologie	100
55	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	335	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
56	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	336	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
57	Homme	Tranche1	Cardiologie	80	337	Femme	Tranche2	Médecine Générale	100
58	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	338	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
59	Femme	Tranche1	Gastroentérologie	80	339	Homme	Tranche2	Médecine Générale	100
60	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	340	Homme	Tranche2	Médecine Générale	100
61	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	341	Femme	Tranche4	Médecine Générale	100
62	Femme	Tranche1	Génétique	80	342	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100
63	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	343	Femme	Tranche2	Médecine Générale	100
64	Femme	Tranche1	Psychiatrie	80	344	Femme	Tranche1	Biologie Médicale	100
65	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	345	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
66	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	346	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
67	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	347	Homme	Tranche4	Médecine Générale	100
68	Homme	Tranche2	Médecine Générale	80	348	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100
69	Homme	Tranche4	Médecine Générale	80	349	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
70	Femme	Tranche2	Médecine Générale	80	350	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
71	Homme	Tranche1	Cardiologie	80	351	Femme	Tranche3	Médecine Générale	100
72	Homme	Tranche1	Médecine Générale	80	352	Femme	Tranche4	Médecine Générale	100
73	Femme	Tranche1	Médecine Générale	80	353	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
74	Femme	Tranche1	Médecine générale	80	354	Femme	Tranche1	Gériatrie	100
75	Femme	Tranche2	Médecine générale	80	355	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100
76	Femme	Tranche1	Médecine générale	80	356	Homme	Tranche4	Médecine générale	100
77	Femme	Tranche1	Médecine générale	80	357	Femme	Tranche1	Médecine générale	100
78	Femme	Tranche1	Pédiatrie	82	358	Homme	Tranche1	Médecine d'urgence	100

79	Femme	Tranche1	Gynécologie	85	359	Femme	Tranche1	Médecine générale	100
80	Femme	Tranche1	MPR	85	360	Femme	Tranche1	Pneumologie	100
81	Femme	Tranche1	Psychiatrie	85	361	Femme	Tranche2	Médecine générale	100
82	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	362	Homme	Tranche1	Médecine générale	100
83	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	363	Femme	Tranche1	Médecine générale	100
84	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	364	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	101
85	Femme	Tranche3	Médecine Générale	85	365	Femme	Tranche1	Médecine Générale	101
86	Femme	Tranche1	Pédiatrie	85	366	Homme	Tranche4	Psychiatrie	101
87	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	367	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	101
88	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	368	Femme	Tranche1	Médecine générale	101
89	Femme	Tranche1	Autre	85	369	Homme	Tranche4	Santé Publique	102
90	Femme	Tranche2	Médecine Générale	85	370	Homme	Tranche1	Médecine Générale	103
91	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	371	Femme	Tranche1	Gynécologie	105
92	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	372	Homme	Tranche1	Médecine Générale	105
93	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	373	Homme	Tranche1	Radiologie	110
94	Homme	Tranche1	Médecine Générale	85	374	Femme	Tranche1	Médecine Générale	110
95	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	375	Femme	Tranche1	Médecine Générale	110
96	Femme	Tranche1	Médecine Interne	85	376	Femme	Tranche1	Médecine Générale	110
97	Femme	Tranche1	Chirurgie Viscérale	85	377	Femme	Tranche1	Médecine Générale	120
98	Femme	Tranche1	Autre	85	378	Femme	Tranche3	Pédiatrie	120
99	Femme	Tranche2	Radiologie	85	379	Femme	Tranche2	Biologie Médicale	120
100	Homme	Tranche2	Psychiatrie	85	380	Homme	Tranche1	Médecine Générale	120
101	Femme	Tranche2	Autre	85	381	Femme	Tranche1	Oncologie	120
102	Femme	Tranche2	Pédiatrie	85	382	Homme	Tranche1	Médecine Générale	120
103	Femme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	85	383	Homme	Tranche2	Anesthésie-réanimation	120
104	Homme	Tranche1	Gastroentérologie	85	384	Femme	Tranche1	Génétique	120
105	Femme	Tranche2	Médecine Générale	85	385	Homme	Tranche5	Anesthésie-réanimation	120
106	Homme	Tranche1	Biologie Médicale	85	386	Femme	Tranche2	MPR	120
107	Femme	Tranche2	Pédiatrie	85	387	Femme	Tranche1	Médecine Générale	120
108	Femme	Tranche1	Endocrinologie	85	388	Homme	Tranche2	Médecine Générale	120
109	Homme	Tranche1	Médecine Générale	85	389	Femme	Tranche3	Médecine Générale	120
110	Femme	Tranche1	Chirurgie Viscérale	85	390	Homme	Tranche2	Médecine Générale	120
111	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	391	Homme	Tranche3	Médecine Générale	120
112	Homme	Tranche4	Médecine Générale	85	392	Femme	Tranche1	Médecine du Travail	120
113	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	393	Femme	Tranche1	Médecine générale	120
114	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	394	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	125
115	Homme	Tranche1	Médecine Générale	85	395	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	125
116	Femme	Tranche1	Médecine Générale	85	396	Homme	Tranche1	Médecine du Travail	125
117	Femme	Tranche2	Pédiatrie	85	397	Homme	Tranche1	Médecine Générale	150
118	Femme	Tranche1	Médecine Générale	88	398	Femme	Tranche1	Psychiatrie	150
119	Homme	Tranche3	Médecine Générale	88	399	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	150
120	Homme	Tranche1	Gastroentérologie	90	400	Femme	Tranche1	Ophtalmologie	150
121	Femme	Tranche1	Cardiologie	90	401	Homme	Tranche1	Rhumatologie	150

122	Femme	Tranche1	Médecine Interne	90	402	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
123	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	90	403	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
124	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	404	Homme	Tranche1	Médecine Générale	150
125	Femme	Tranche1	Radiologie	90	405	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
126	Femme	Tranche1	Oncologie	90	406	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
127	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	407	Femme	Tranche1	Anatomo-pathologie	150
128	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	408	Femme	Tranche1	Psychiatrie	150
129	Homme	Tranche1	Médecine Générale	90	409	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	150
130	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	410	Femme	Tranche1	Santé Publique	150
131	Homme	Tranche1	Cardiologie	90	411	Homme	Tranche2	Médecine Interne	150
132	Femme	Tranche1	MPR	90	412	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	150
133	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	413	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
134	Femme	Tranche1	Oncologie	90	414	Femme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	150
135	Femme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	90	415	Homme	Tranche1	Médecine Générale	150
136	Homme	Tranche2	Pneumologie	90	416	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
137	Homme	Tranche5	Anesthésie-réanimation	90	417	Homme	Tranche3	Néphrologie	150
138	Homme	Tranche1	Autre	90	418	Femme	Tranche4	Biologie Médicale	150
139	Femme	Tranche1	Pédiatrie	90	419	Femme	Tranche2	Médecine Générale	150
140	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	90	420	Femme	Tranche1	Médecine Générale	150
141	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	421	Femme	Tranche1	Radiologie	150
142	Homme	Tranche4	Médecine Générale	90	422	Homme	Tranche1	Médecine Générale	150
143	Homme	Tranche2	Médecine Interne	90	423	Femme	Tranche1	Médecine Générale	180
144	Homme	Tranche1	Médecine Générale	90	424	Homme	Tranche2	Médecine Générale	180
145	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	425	Femme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	200
146	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	426	Femme	Tranche1	Médecine Générale	200
147	Femme	Tranche2	Psychiatrie	90	427	Femme	Tranche1	Médecine Générale	200
148	Homme	Tranche2	Psychiatrie	90	428	Femme	Tranche1	Autre	200
149	Homme	Tranche1	Urologie	90	429	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	200
150	Femme	Tranche1	Chirurgie Plastique	90	430	Homme	Tranche1	Médecine Générale	200
151	Femme	Tranche2	Ophtalmologie	90	431	Femme	Tranche1	Médecine Générale	200
152	Femme	Tranche2	Dermatologie	90	432	Femme	Tranche1	Médecine Générale	200
153	Homme	Tranche3	Autre	90	433	Homme	Tranche1	Médecine Générale	200
154	Femme	Tranche3	Psychiatrie	90	434	Homme	Tranche1	Chirurgie Viscérale	200
155	Femme	Tranche4	Biologie Médicale	90	435	Femme	Tranche2	Autre	200
156	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	436	Homme	Tranche2	Neurologie	200
157	Homme	Tranche3	Médecine Interne	90	437	Femme	Tranche1	Rhumatologie	200
158	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	438	Femme	Tranche1	Dermatologie	200
159	Femme	Tranche2	Pneumologie	90	439	Femme	Tranche3	Neurologie	200
160	Homme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	90	440	Homme	Tranche2	Autre	200
161	Femme	Tranche1	Pédiatrie	90	441	Femme	Tranche3	Médecine Générale	200
162	Femme	Tranche1	Ophtalmologie	90	442	Femme	Tranche1	Neurologie	200
163	Femme	Tranche1	Gériatrie	90	443	Femme	Tranche1	Urologie	200

164	Femme	Tranche2	Médecine Interne	90	444	Femme	Tranche1	Santé Publique	200
165	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	445	Homme	Tranche4	Médecine Générale	200
166	Homme	Tranche1	Médecine Générale	90	446	Homme	Tranche4	Médecine Générale	200
167	Femme	Tranche3	Endocrinologie	90	447	Homme	Tranche1	Médecine générale	200
168	Femme	Tranche1	Pédiatrie	90	448	Homme	Tranche1	Médecine Générale	240
169	Homme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	90	449	Femme	Tranche1	Pédiatrie	250
170	Femme	Tranche1	endocrinologie	90	450	Femme	Tranche1	Médecine Générale	300
171	Femme	Tranche1	Autre	90	451	Homme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	300
172	Femme	Tranche2	Pédiatrie	90	452	Homme	Tranche1	Stomatologie	300
173	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	453	Femme	Tranche1	Médecine Générale	400
174	Femme	Tranche1	Cardiologie	90	454	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	500
175	Homme	Tranche1	Oto-rhino-laryngologie	90	455	Homme	Tranche1	Médecine Générale	500
176	Femme	Tranche2	Médecine Générale	90	456	Homme	Tranche1	Médecine Générale	500
177	Homme	Tranche3	Médecine Générale	90	457	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	500
178	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	458	Homme	Tranche1	Oncologie	500
179	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	459	Femme	Tranche1	Dermatologie	500
180	Femme	Tranche3	Médecine Générale	90	460	Homme	Tranche3	Cardiologie	500
181	Femme	Tranche2	Médecine Générale	90	461	Homme	Tranche1	Ophtalmologie	500
182	Homme	Tranche4	Médecine Générale	90	462	Homme	Tranche1	Radiologie	500
183	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	463	Homme	Tranche1	Médecine Générale	500
184	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	464	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	500
185	Homme	Tranche1	Médecine Générale	90	465	Femme	Tranche4	Santé Publique	500
186	Femme	Tranche4	Médecine Générale	90	466	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	500
187	Femme	Tranche1	Gynécologie	90	467	Homme	Tranche1	Biologie Médicale	500
188	Femme	Tranche1	Médecine Générale	90	468	Femme	Tranche1	Médecine Générale	500
189	Femme	Tranche2	Médecine Générale	90	469	Homme	Tranche4	Médecine Générale	500
190	Femme	Tranche1	Médecine générale	90	470	Homme	Tranche1	Médecine générale	500
191	Femme	Tranche1	Pneumologie	90	471	Homme	Tranche1	Psychiatrie	666
192	Homme	Tranche1	Médecine générale	90	472	Femme	Tranche1	Médecine Générale	950
193	Femme	Tranche2	Pneumologie	92	473	Homme	Tranche1	Médecine Générale	1000
194	Homme	Tranche1	Médecine générale	92	474	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	1000
195	Homme	Tranche1	Neurologie	93	475	Homme	Tranche1	Médecine Générale	1000
196	Femme	Tranche3	Psychiatrie	94	476	Homme	Tranche1	Médecine Générale	1000
197	Femme	Tranche1	Gynécologie	95	477	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	1000
198	Homme	Tranche1	Médecine Générale	95	478	Homme	Tranche1	Médecine Générale	1000
199	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	479	Femme	Tranche1	Gériatrie	1000
200	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	480	Femme	Tranche1	Médecine Générale	1000
201	Femme	Tranche3	Gériatrie	95	481	Femme	Tranche1	Médecine Générale	1000
202	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	482	Homme	Tranche1	Autre	1000
203	Femme	Tranche1	Dermatologie	95	483	Homme	Tranche2	Médecine Générale	1000
204	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	484	Homme	Tranche2	Radiologie	1000
205	Homme	Tranche1	Médecine Interne	95	485	Homme	Tranche2	Médecine Générale	1000

206	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	486	Femme	Tranche2	MPR	2000
207	Homme	Tranche1	Cardiologie	95	487	Homme	Tranche1	Médecine Générale	3000
208	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	488	Femme	Tranche3	Endocrinologie	3000
209	Femme	Tranche1	Ophthalmologie	95	489	Homme	Tranche2	Médecine Générale	3000
210	Homme	Tranche1	Médecine Générale	95	490	Femme	Tranche1	Chirurgie Orthopédique	5000
211	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	491	Femme	Tranche1	Médecine Générale	8000
212	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	492	Homme	Tranche1	Médecine Générale	9000
213	Femme	Tranche1	Médecine Générale	95	493	Femme	Tranche1	Autre	10000
214	Femme	Tranche4	Médecine Générale	95	494	Femme	Tranche1	Médecine Générale	10000
215	Femme	Tranche1	Médecine générale	97	495	Homme	Tranche4	Médecine d'Urgence	10000
216	Homme	Tranche4	Médecine d'Urgence	99	496	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
217	Femme	Tranche1	Pédiatrie	100	497	Femme	Tranche1	Médecine Générale	10000
218	Homme	Tranche1	Oto-rhino-laryngologie	100	498	Homme	Tranche1	Santé Publique	10000
219	Femme	Tranche1	Ophthalmologie	100	499	Homme	Tranche1	Psychiatrie	10000
220	Femme	Tranche1	Gynécologie	100	500	Femme	Tranche1	Médecine du Travail	10000
221	Femme	Tranche1	Gynécologie	100	501	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
222	Homme	Tranche5	Médecine d'Urgence	100	502	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
223	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	503	Homme	Tranche1	Oncologie	10000
224	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	504	Homme	Tranche1	Médecine Interne	10000
225	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	505	Homme	Tranche4	Médecine d'Urgence	10000
226	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	506	Homme	Tranche1	Autre	10000
227	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	507	Femme	Tranche1	Neurologie	10000
228	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	508	Homme	Tranche2	Médecine Générale	10000
229	Femme	Tranche1	Pédiatrie	100	509	Femme	Tranche1	Médecine Générale	10000
230	Femme	Tranche1	Autre	100	510	Homme	Tranche2	Oto-rhino-laryngologie	10000
231	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	511	Femme	Tranche1	Oto-rhino-laryngologie	10000
232	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	512	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
233	Homme	Tranche3	Médecine d'Urgence	100	513	Femme	Tranche1	Médecine Générale	10000
234	Homme	Tranche3	Médecine d'Urgence	100	514	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	10000
235	Femme	Tranche1	Rhumatologie	100	515	Homme	Tranche2	Neurochirurgie	10000
236	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	516	Homme	Tranche4	Autre	10000
237	Homme	Tranche5	Médecine Générale	100	517	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
238	Homme	Tranche1	Gynécologie	100	518	Femme	Tranche4	Médecine Interne	10000
239	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	519	Homme	Tranche3	Psychiatrie	10000
240	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	520	Homme	Tranche2	Biologie Médicale	10000
241	Femme	Tranche1	Autre	100	521	Homme	Tranche2	Autre	10000
242	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	522	Homme	Tranche3	Autre	10000
243	Femme	Tranche1	Gynécologie	100	523	Femme	Tranche3	Anesthésie-réanimation	10000
244	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	524	Homme	Tranche1	Autre	10000
245	Femme	Tranche3	Chirurgie Viscérale	100	525	Homme	Tranche2	Chirurgie Orthopédique	10000
246	Femme	Tranche3	Chirurgie Plastique	100	526	Femme	Tranche1	Médecine Générale	10000
247	Femme	Tranche4	Pédiatrie	100	527	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
248	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	100	528	Homme	Tranche1	MPR	10000

249	Femme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	100	529	Homme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	10000
250	Femme	Tranche1	Stomatologie	100	530	Homme	Tranche2	Pédiatrie	10000
251	Homme	Tranche3	Gynécologie	100	531	Homme	Tranche4	Médecine Générale	10000
252	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	532	Homme	Tranche4	Médecine Générale	10000
253	Homme	Tranche2	Médecine d'Urgence	100	533	Homme	Tranche3	Biologie Médicale	10000
254	Femme	Tranche1	Pédiatrie	100	534	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
255	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	535	Femme	Tranche2	Médecine Générale	10000
256	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	536	Homme	Tranche1	Médecine Générale	10000
257	Femme	Tranche1	Gynécologie	100	537	Homme	Tranche4	Médecine générale	10000
258	Homme	Tranche4	Médecine d'Urgence	100	538	Homme	Tranche1	Autre	10000
259	Homme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	539	Femme	Tranche1	Gynécologie	erreur
260	Femme	Tranche2	Gériatrie	100	540	Homme	Tranche1	Neurologie	erreur
261	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	541	Homme	Tranche1	Oncologie	erreur
262	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	542	Femme	Tranche1	Dermatologie	erreur
263	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	543	Femme	Tranche1	Anatomo-pathologie	erreur
264	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	544	Homme	Tranche1	Psychiatrie	erreur
265	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	545	Femme	Tranche1	Médecine du Travail	erreur
266	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	546	Homme	Tranche1	Cardiologie	erreur
267	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	547	Femme	Tranche1	Pédiatrie	erreur
268	Femme	Tranche2	MPR	100	548	Femme	Tranche1	Anesthésie-réanimation	erreur
269	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	549	Femme	Tranche1	Psychiatrie	erreur
270	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	550	Homme	Tranche1	Psychiatrie	erreur
271	Femme	Tranche1	Médecine Générale	100	551	Femme	Tranche1	Gynécologie	erreur
272	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	552	Femme	Tranche1	Autre	erreur
273	Homme	Tranche1	Médecine Générale	100	553	Homme	Tranche1	Autre	erreur
274	Femme	Tranche1	Médecine Légale	100	554	Femme	Tranche1	Neurologie	erreur
275	Homme	Tranche1	Chirurgie Orthopédique	100	555	Femme	Tranche1	Anatomo-pathologie	erreur
276	Femme	Tranche2	Autre	100	556	Homme	Tranche1	Oto-rhino-laryngologie	erreur
277	Femme	Tranche1	Médecine d'Urgence	100	557	Femme	Tranche1	Médecine Nucleaire	erreur
278	Femme	Tranche2	Autre	100	558	Homme	Tranche1	Oto-rhino-laryngologie	erreur
279	Femme	Tranche2	Gastroentérologie	100	559	Homme	Tranche1	Psychiatrie	erreur
280	Homme	Tranche1	Biologie Médicale	100	560	Femme	Tranche1	Anatomo-pathologie	erreur

### 10. Annexe 10 tableaux de résultats

Répartition des choix d'EdV					
Choix d'espérance de vie	Nombre de fois		Choix d'espérance de vie	Nombre de fois	
	années	n %		années	n %
0	3	0,54%	105	2	0,36%
25	1	0,18%	110	4	0,71%
55	1	0,18%	120	17	3,04%
60	2	0,36%	125	3	0,54%
70	7	1,25%	150	26	4,64%
175	5	0,89%	180	2	0,36%
79	6	1,07%	200	23	4,11%
80	51	9,11%	240	1	0,18%
82	1	0,18%	250	1	0,18%
85	40	7,14%	300	3	0,54%
88	2	0,36%	400	1	0,18%
90	73	13,04%	500	17	3,04%
92	2	0,36%	666	1	0,18%
93	1	0,18%	950	1	0,18%
94	1	0,18%	1000	13	2,32%
95	18	3,21%	2000	1	0,18%
97	1	0,18%	3000	3	0,54%
99	1	0,18%	5000	1	0,18%
100	147	26,25%	9000	2	0,18%
101	5	0,89%	10000	46	8,21%
102	1	0,18%	Erreur	22	3,93%
103	1	0,18%			

Résultat du CJP1 en fonction du sexe								
Tranche d'âge choisi	Femme		Homme		Totaux		Rapport F/H	p-value
	n	%	n	%	n	%		
[0-79]	10	3,12%	15	6,91%	25	4,65%	0,45	0,08
[80-85]	66	20,56%	26	11,98%	92	17,10%	1,72	0,03
[88-110]	174	54,21%	85	39,17%	259	48,14%	1,38	0,04
[120-200]	44	13,71%	27	12,44%	71	13,20%	1,1	0,81
[2240-950]	7	2,18%	18	8,29%	25	4,65%	0,26	0,01
1000	4	1,25%	9	4,15%	13	2,42%	0,3	0,07
[2000-5000]	4	1,25%	2	0,92%	6	1,12%	1,35	0,94
9000	0	0,00%	1	0,46%	1	0,19%	0	0,84
10000	12	3,74%	34	15,67%	46	8,55%	0,24	2,04
Total	321	100,00%	217	100,00%	538	100,00%		

Résultat du CJP1 en fonction de la tranche d'âge								
Tranches d'âge choisi	[20-35]		[>35-45]		[>45-55]		[>55-65] et [ >65]	
	n	%	n	%	n	%	n	%
[0-79]	15	4,12%	4	5,06%	3	6,00%	3	6,67%
[80-85]	67	18,41%	17	21,52%	6	12,00%	2	4,44%
[88-110]	174	47,80%	30	37,97%	28	56,00%	27	60,00%
[120-200]	47	12,91%	14	17,72%	6	12,00%	4	8,89%
[2240-950]	20	5,49%	1	1,27%	2	4,00%	2	4,44%
1000	10	2,75%	3	3,80%				
[2000-5000]	2	0,55%	2	2,53%	1	2,00%		
9000	2	0,55%						
10000	27	7,42%	8	10,13%	4	8,00%	7	15,56%
Total	364	100%	79	100%	50	100%	45	100%

Résultat du CJP1 en fonction de la croyance en la vie après la mort						
Tranches d'âge choisi	Croyants		Non Croyants		Rapport C/NC	p-value
	n	%	n	%		
[0-79]	9	4,84%	16	4,55%	1,06	0,88
[80-85]	33	17,74%	59	16,76%	1,06	0,8
[88-110]	99	53,23%	160	45,45%	1,17	0,31
[120-200]	22	11,83%	49	13,92%	0,85	0,54
[240-950]	4	2,15%	21	5,97%	0,36	0,08
1000	1	0,54%	12	3,41%	0,16	0,07
[2000-5000]	2	1,08%	4	1,14%	0,95	0,94
9000	1	0,54%				
10000	16	8,60%	30	8,52%	1,01	0,97

Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction du sexe							
Item	Femme		Homme		Total		F/H p value
	n	%	n	%	n	%	
<b>Mélioratif</b>							
Pour le choix du sexe des enfants	4	1,2	12	5,31	16	2,86	0,23 0,01
Pour le choix de l'intelligence des enfants	5	1,5	10	4,42	15	2,68	0,34 0,08
Pour le choix de critères non pathologiques chez les enfants	2	0,6	6	2,65	8	1,43	0,23 0,22
Pour l'étude des cellules souches pour prolonger l'EdV	140	41,19	123	54,42	263	46,95	0,76 0,1
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un non déficient	51	15,27	69	30,53	120	21,43	0,5 0,01
Pour l'utilisation d'ICE chez les non déficients	21	6,29	45	19,91	66	11,76	0,32 2,86
Pour le clonage complet d'être inconscient	59	19,09	59	27,19	118	22	0,7 0,1
Pour le clonage complet de remplacement	31	10,03	40	18,43	71	16,61	0,54 0,02
Pour l'uploading	42	12,57	51	22,56	93	16,61	0,56 0,01
Pour la cryogénéisation	55	16,47	65	28,76	120	21,43	0,57 0,01
Pour l'égalité des droits avec les posthumains	200	59,88	157	69,47	357	63,75	0,86 0,3
Pour l'égalité avec une intelligence artificielle	77	23,05	55	24,34	132	23,57	0,95 0,85
Pour l'ectogénese	18	5,39	25	11,06	43	7,69	0,49 0,03
Pour la modification du génome à visé méliorative	10	2,99	32	14,61	42	7,51	0,2 1,27
<b>Curatif</b>							
Pour l'exclusion des critères pathologiques chez les enfants	200	59,88	151	66,81	351	67,2	0,9 0,47
Pour l'étude cellule souche à visé curative	332	99,1	221	97,78	552	98,57	1,01 0,94
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un déficient	335	100	224	99,11	558	99,64	1,01 0,97
Pour l'utilisation de prothèse d'organe chez un insuffisant	332	98,8	223	98,67	555	99,11	1,22 0,14
Pour l'utilisation de prothèse de membre chez un amputé	335	100	223	98,67	557	99,46	1,01 0,94
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladie neurodégénérative	325	97,3	229	97,34	554	97,32	1 0,79
Pour l'utilisation d'ICE chez les déficients	328	98,2	222	98,23	550	98,21	1 0,95
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladies psychiatriques	309	92,51	214	94,69	523	93,39	0,98 0,9
Pour le clonage d'organe	321	90,34	187	86,18	477	88,67	1,05 0,16
Pour la modification du génome à visée curative	209	62,57	162	71,68	371	66,25	0,87 0,34

Item	[20–35]		[>35–45]		[>35–45]		[>35–45] ετ [>65]	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Pour le choix du sexe des enfants	9	2,33%	2	2,53%	3	6,00%	2	4,44%
Pour le choix de l'intelligence des enfants	11	2,85%	2	2,53%	1	2,00%	1	2,22%
Pour le choix de critères non pathologiques chez les enfants	5	1,30%	1	1,27%	2	4,00%	0	0,00%
Pour l'étude des cellules souches pour prolonger l'EdV	179	46,37%	38	48,10%	24	48,00%	22	48,89%
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un non déficient	385	99,74%	79	100,00%	49	98,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation d'ICE chez les non déficients	53	13,73%	5	6,33%	5	10,00%	3	6,67%
Pour l'uploading	64	16,58%	12	15,19%	8	16,00%	9	20,00%
Pour la cryogénéisation	94	24,35%	14	17,72%	6	12,00%	6	13,33%
Pour l'égalité des droits avec les posthumains	256	66,32%	48	60,76%	29	58,00%	24	53,33%
Pour l'égalité avec une intelligence artificielle	109	28,24%	11	13,92%	8	16,00%	4	8,89%
Pour l'ectogénese	33	8,55%	3	3,80%	5	10,00%	2	4,44%
Pour la modification du génome à visée méliorative	29	7,51%	5	6,33%	5	10,00%	3	6,67%
Pour l'exclusion des critères pathologiques chez les enfants	236	61,14%	54	68,35%	28	98,00%	33	73,33%
Pour l'étude cellule souche à visée curative	381	98,70%	78	98,73%	49	100,00%	44	97,78%
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un déficient	385	99,74%	79	100,00%	50	98,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation de prothèse d'organe chez un insuffisant	382	98,96%	79	100,00%	49	100,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation de prothèse de membre chez un amputé	386	100,00%	79	100,00%	50	92,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladies neurodégénératives	377	97,67%	77	97,47%	46	96,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation d'ICE chez les déficients	380	98,45%	77	97,47%	48	88,00%	45	100,00%
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladies psychiatriques	363	94,04%	74	93,67%	44	74,00%	31	68,89%
Pour la modification du génome à visée curative	246	63,73%	52	65,82%	37	74,00%	36	80,00%

Pénétrance des concepts Transhumanistes en fonction de la croyance en la vie après la mort						
Item	Croyants		Non Croyants		C/NC	p value
	n	%	n	%		
<b>Mélioratif</b>						
Pour le choix du sexe des enfants	3	1,60%	13	3,49%	0,46	0,28
Pour le choix de l'intelligence des enfants	6	3,19%	9	2,42%	1,32	0,8
Pour le choix de critères non pathologiques chez les enfants	3	1,60%	5	1,34%	1,19	1
Pour l'étude des cellules souches pour prolonger l'EdV	79	42,02%	184	49,46%	0,85	0,35
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un non déficient	31	16,49%	89	23,92%	0,69	0,12
Pour l'utilisation d'ICE chez les non déficients	17	9,04%	49	13,17%	0,69	0,25
Pour le clonage complet d'être inconscient	33	17,74%	85	24,15%	0,73	0,28
Pour le clonage complet de remplacement	17	9,14%	54	15,34%	0,6	0,13
Pour l'uploading	30	15,96%	63	16,94%	0,94	0,89
Pour la cryogénisation	31	16,49%	157	42,20%	0,39	1,29
Pour l'égalité des droits avec les posthumains	114	60,64%	243	65,32%	0,93	0,65
Pour l'égalité avec une intelligence artificielle	38	20,21%	94	25,27%	0,8	0,34
Pour l'ectogénese	8	4,26%	35	9,41%	0,45	0,64
Pour la modification du génome à visée méliorative	8	4,26%	34	9,14%	0,47	0,08
<b>Curatif</b>						
Pour l'exclusion des critères pathologiques chez les enfants	103	54,79%	248	66,67%	0,82	0,2
Pour l'étude cellule souche à visée curative	183	97,34%	369	99,19%	0,98	0,93
Pour l'utilisation de prothèses sensorielles chez un déficient	188	100,00%	370	99,46%	1,01	0,98
Pour l'utilisation de prothèse d'organe chez un insuffisant	185	98,40%	370	99,46%	0,99	0,98
Pour l'utilisation de prothèse de membre chez un amputé	187	99,47%	370	99,46%	1	0,94
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladie neurodégénérative	183	97,34%	362	97,31%	1	0,95
Pour l'utilisation d'ICE chez les déficients	185	98,40%	365	98,12%	1	0,96
Pour l'utilisation d'ICE dans le traitement des maladies psychiatriques	179	95,21%	344	92,47%	1,03	0,87
Pour le clonage d'organe	157	83,51%	320	86,02%	0,97	0,87
Pour la modification du génome à visée curative	119	63,30%	252	67,74%	0,93	0,68

## 11. Annexe 11 Compilation des principaux commentaires

Le questionnaire ne permet pas de ne pas répondre à une question - il manque un 'NSP3 à chaque question, ce qui est un biais méthodologique important (j'aurais par exemple non répondu à la question 1.7, si cela avait été possible)

Beaucoup de termes sont utilisés qui appellent une définition, tel que le terme 'conscience'.

Quand je lis ton questionnaire je me rassure avec cet extrait du Monde :

La sixième extinction animale de masse est en cours:

Selon des experts de trois universités américaines, jamais la planète n'a perdu ses espèces animales à un rythme aussi effréné, depuis l'extinction des dinosaures. Et les humains feront probablement partie des espèces qui disparaîtront.

'Si j'étais immortel, j'inventerais la mort pour avoir plaisir à vivre'

A condition d'être autonome et compétente si non moins !

À partir du moment où la vie est illimitée les possibilités d'extension et de croissance de l'être humain sont sans limite il faudra conquérir l'univers et partir voyager dans l'espace

Au lieu de chercher de prolonger la vie on devrait se concentrer sur trouver une façon de vivre mieux le temps qu'on a

Au-delà se pose le pb de la quantité d'êtres humains présents sur la terre et il faut les nourrir, avoir les ressources en eau, énergie...

Bien que je pense souhaitable d'arrêter les effets du vieillissement (ou plutôt le processus de sénescence), je pense qu'il n'est pas souhaitable de chercher à rendre l'espérance de vie physique aussi longue que 10000 ans : outre l'impossibilité écologique de le rendre réalisable pour tout le monde, de toute façon il restera des morts inévitables : accidents, meurtres, suicides.

Un autre problème est celui de la responsabilité : faut-il tout 'réparer' ? Faut-il donner un nouveau corps aux gens qui n'ont pas pris soins du leur ? Quel coût ? Quelles conséquences ? Peut-on juger équitablement ou de la même façon une personne 'normale' et une personne qui a artificiellement modifié ses capacités (augmenté certaines, mais éventuellement diminué d'autres)... Tant que les sociétés humaines n'ont pas ses réponses, je pense qu'elles doivent interdire les modifications volontaires importantes de la personne humaine.

Bravo pour le questionnaire.

Aurons-nous accès aux résultats ?

Dernière question difficile car aucune envie d'être éternel, mais quelle valeur noter. On se base sur des infos du XXI<sup>e</sup> en France. Si on était en Afrique noire, 80 ans semblerait déjà inatteignable...

C'est difficile de ne répondre que par oui ou non en excluant les 'cas par cas, peut-être, je ne sais pas' ....

C'est intéressant que les médecins eux aussi se posent les questions du transhumanisme, et pas seulement la science fiction. ça soulève évidemment des questions éthiques qu'il est souhaitable d'approfondir, puisque forcément certains, médecins ou non, vont essayer.

C'est très déstabilisant comme questionnaire, vous posez des questions que je ne m'étais jamais posées....

C'est une question très difficile. Cela n'est pas facile de concevoir le temps sur une échelle dont nous ne sommes pas habitués ( 10 000 ans ).

Ce questionnaire n'est pas digne d'une thèse en médecine sérieuse.

Elle n'a aucune valeur scientifique, statistique et n'engage que la crédulité de son auteur.

Certaines questions semblent trop 'complexes' pour répondre uniquement oui ou non

Certaines questions sont à la limite De la science-fiction au jour d'aujourd'hui

Certaines questions sont difficiles à comprendre en particulier sur les relations de la conscience et de l'ordinateur.

Certaines questions sont difficiles, une 3<sup>e</sup> option type 'ne sait pas' ou 'pourquoi pas' pourrait être intéressante.

Certaines questions sont mal formulées et il est difficile d'y répondre avec des questions fermées par réponse oui/non. Par exemple, la question 1 de la page 2 : les exemples donnés du posthumains (ce qui est peut-être la définition) ne sont pas comparables pour moi. Travaillant dans le handicap, je ne mets pas sur le même niveau la compensation du handicap (bioprothèse), le traitement d'une pathologie mortelle ou non mortelle par génétique et la désincarnation de l'être humain avec son esprit par téléchargement...

Ces questions sont à la fois très dérangeantes et très nécessaires au vu des avancées à prévoir pour les décennies à venir

Comment gérer la surpopulation lié à cette approche de la vie?

Qui en bénéficierait?

<p>Croyance de la persistance de l'âme sous une forme énergétique quelconque, sans parler de 'vie après la mort' à part entière.</p> <p>Je suis favorable à tous les progrès technologiques possibles à visée curatives mais pas de question posée sur le pourquoi d'un avis défavorable par rapport à l'acquisition de compétences surhumaines : risque de dérive trop important (éthique et financier), perte des caractères si particuliers à l'être humain !</p>
<p>Curieusement rien sur la zenogreffe ?</p>
<p>Dans l'idéal on aimerait ne pas vieillir ni mourir. . Mais on sait bien qu'il faut laisser la place aux jeunes. La Terre ne supporterait pas autant d'humains !</p>
<p>De quoi est inspirée cette thèse ? quelle est le rapport avec le titre ??</p>
<p>Des questions intéressantes mais parfois un peu trop futuriste ?</p>
<p>Difficile à notre époque de faire la différence entre une IA et un esprit humain dans un ordinateur. est-il toujours considéré comme humain? en gros quelle est la limite à l'humanité?</p>
<p>Difficile de dire sa durée de vie, ce qui bloque c'est la dégradation physique donc si santé optimale il n'y a plus de frein</p>
<p>Difficile de répondre à certaines questions sans information ou connaissance plus précise dans ce domaine complexe (clonage, etc.) qui nécessite beaucoup de prudence éthique et d'humilité philosophique.</p>
<p>Difficile de répondre à vos questions sur un mode binaire... Il ne faudra pas tirer des conclusions trop hâtives !</p>
<p>Domage qu'on ne puisse pas Repondre:Ne sais pas Peut-on avoir les résultats de cette étude très intéressante</p>
<p>en fait tout dépend de ce que l'on entend par état de santé optimal... se poserait alors le problème du nombre d'humain sur terre et de la manière dont on devrait les rétribuer Il faudrait alors probablement allonger le temps de travail, dans une société où on a déjà pas de travail pour les jeunes , cela créerait plus de problèmes que cela n'en résoudrait !!!!</p>
<p>Espérance de vie en bonne santé très dépendante du fait d'être entouré ou non de ses proches</p>
<p>Globalement, je suis pour que la science permette la guérison de toute pathologie, quitte à y impliquer des modifications génétiques pré natales ou des bio implants. Je suis parfaitement contre l'usage de la science pour améliorer l'homme non pathologique OU pour créer des situations qui ne peuvent pas être reproduite en physiologie réelle (par exemple PMA avec deux ovocytes). La médecine doit servir à soigner, guérir, pas modifier complètement les organismes pour améliorer nos performances...</p>
<p>Il est difficile de répondre à toutes ces questions. Le coût financier aurait un impact énorme sur ces questions. Un pancréas artificiel, oui, si possible, mais à quel coût ? En termes de recherche initiale, de mise en place, de surveillance... et aussi quid des effets indésirables, de l'implication en temps et en énergie... ? La société ne pourrait pas tout payer. Quelles seraient les priorités ? Merci de nous faire réfléchir.</p>
<p>Il est rare que les questionnaires de ce type soient si proche de la science-fiction, au point qu'on peut se demander en cours de route d'où viennent ces questions. Vous devriez joindre à votre demande un document expliquant plus complètement votre démarche, par exemple l'introduction de votre thèse, et vos références principales qui pourrait rassurer sur vos objectifs. Merci d'y penser.</p>
<p>Il est très difficile de répondre à ce questionnaire avec des favorables ou défavorables. Pour beaucoup de questions il y a des nuances importantes. je ne suis pas sûre que les réponses soient représentatives de ce que l'on pense exactement. Par exemple je suis croyante et n'aurai pas du tout envie même si j'en avais la possibilité de choisir mon espérance de vie.</p>
<p>il manque des réponses intermédiaires comme je ne sais pas ou ni l'un ni l'autre...Il est difficile d'avoir un avis tranché sur certaines questions.</p>
<p>Il manquerait une case 'je ne sais pas' pour certaines questions qui demandent réflexion avant un avis tranché (ex n° 12 à laquelle je réponds spontanément 'non' avant de me demander s'il n'y aurait pas là un outil pour supprimer la discrimination professionnelle envers les femmes Questionnaire intéressant par ailleurs</p>

Il me faudrait bien 10 000 ans pour réfléchir à toutes ces questions...
Il ne faut pas s'écarter du dogme de la nature humaine, que les avancées de la biomédecine, de la génétique, puissent envisager de nouvelles thérapeutiques, restent une bonne chose mais pas au-delà, pas d'eugénisme !! Ne jouons pas à l'apprenti sorcier... et que dire de l'orgasme de certains de rêver à l'intelligence artificielle a conscience humaine ... de grâce, laissons la science-fiction au cinéma !
il serait plus intéressant de pouvoir choisir quand terminer sa vie en fonction de son état psychique et de son parcours, plutôt que de définir à l'avance un nombre d'années.
Il y a des questions auxquelles j'ai répondu oui mais en fait je ne sais pas vraiment... ne peux pas répondre... Idem pour la réponse sur l'espérance de vie souhaitée : si une vie optimale s'est avérée avoir le corps d'une femme de 25 ans et avoir tous ses proches avec soi : je pourrais peut-être mettre 10000 mais si c'est sans ces proches ou avec le corps d'une centenaire même sans problème de santé : 100 ans sont je pense largement suffisant. Et de toute façon, à l'échelle de la population, on ne peut pas tous rester en vie éternellement, on est déjà trop nombreux...
Il y a certaines questions où j'aurai bien répondu ne sais pas si cela avait été possible
Les questions posées sont très intéressantes et correspondent aux questions éthiques que la société devra se poser devant les progrès technologiques. Mais le titre comprenant 'santé optimale' ne me paraît pas adapté. En tout cas il faudra aborder (que ce soit dans la discussion ou l'ouverture de cette thèse) le thème de l'écologie, la protection de l'environnement comme moyen de maintenir une santé de l'humain, et les différences de 'vision' de l'état de santé optimal'
Intéressant ! Certains n'ont pas attendu de réflexion éthique pour pratiquer sur eux des 'améliorations' de leur corps.
Intéressant, original, court, bien fait. Très bonne idée Bon courage et tous mes vœux de réussite
J'ai répondu oui par défaut à la question précédente, mais elle n'a pas de sens, il faudrait plutôt demander : pensez-vous qu'après votre mort, les personnes qui vous aiment cessent ou continuent de vous aimer et transmettront ou pas ce qui a nourri vos relations ?
Je manque d'informations sur ces sujets
Je ne comprends pas l'intérêt de la première question du questionnaire concernant l'IVG. sujet très intéressant, qui soulève aussi la question de l'encadrement éthique de la recherche menée indépendamment par les grands groupes internationaux de type Google.
Je pense que les réels progrès sur l'espérance de vie concernent la santé publique et l'écologie. Hygiène et gestion des épidémies certes mais accès à une nourriture non polluée, mieux répartie, limiter la pollution environnementale+++ car il s'agit aussi du respect de la Vie
Je serai intéressé de connaître vos résultats ainsi que les différentes interprétations que vous en faites. Personnellement, le transhumanisme est un sujet auquel je suis défavorable car il s'agit d'un concept créé par des mégalomanes avec une volonté de pouvoir indéfini et dont les implications à l'heure actuelle et au vu des gouvernances actuelles ne profiteraient qu'à un petit nombre et probablement pas à visée sanitaire !
Je suis pour tout processus respectueux de l'éthique qui vise à guérir des pathologies connues mais je ne vois aucun intérêt à prolonger la vie en modifiant des caractéristiques non pathologiques.
Je trouve que le sujet est presque plus philosophique que médical, mais c'est génial d'y penser, et j'espère que tu auras assez de réponses pour que tes statistiques soient interprétables. Je suis catholique pratiquante si cela peut entrer en compte dans tes statistiques. Bon courage pour ta soutenance.
Je trouve votre thèse très intéressante ! Les questions sont tellement différentes et novatrices, j'ai hâte de pouvoir lire vos conclusions ! Difficile de répondre en quelques minutes, peut-être qu'avec plusieurs heures ou jours de réflexion, mes réponses n'aurait pas été les mêmes. Bonne continuation ! Bon courage !
Je voudrais vivre à l'infini mais je ne voudrais pas que l'humanité vive à l'infini, sinon on manque un peu de but dans la vie. Et puis on manquerai de place... On pourrait plus avoir d'enfant...

<p>L'humanité ne peut progresser que par le renouvellement des individus, génération après génération !  L'immortalité figerait l'humanité et provoquerait probablement son déclin.  L'accès au transhumanisme serait et sera évidemment inégalitaire, réservé aux plus aisés.  Il faut réfléchir en survie de notre espèce et non en immortalité égocentrique !  Gérer notre planète, ne pas nous entretuer et si nous survivons jusque-là, prévoir notre déménagement dans 1.5 milliards d'années quand notre étoile à court de carburant commencera à dévaster notre terre.</p>
<p>La définition de la Conscience/Inconscience n'est pas quelque chose de facile à matérialiser, y compris en service de réa où l'on est confronté à ce genre de question éthique de Vie sans Vie ...  On parle surtout de l'aspect technique, matériel, corporel, physique et personnellement, j'aurai aimé que l'aspect Spirituel soit plus mentionné (je ne parle pas de l'aspect religieux, qui est, selon moi, un moyen d'accès à la Propre Conscience de Soi, et donc de sa Spiritualité)  J'aurais personnellement abordé le sujet de l'Âme malgré tout...  Vu que la dernière question pose clairement l'idée d'une Vie après la mort, j'aurais employé le terme d'Immortalité...  Et que l'on soit croyant ou non, certains phénomènes de vie après la mort sont décrits de plus en plus, notamment en service de réanimation avec les NDE (expérience de mort imminente), un médecin réanimateur en a d'ailleurs écrit un livre.  Je pense que la modification génétique a déjà lieu à chaque nouvelle seconde, et ce chez l'ensemble des êtres Vivants, espèce humaine incluse, qu'on le souhaite ou non, qu'on en soit conscient ou non. Seul l'étude répétée des séquences ADN d'une même personne sur une échelle de temps donnée pourrait le démontrer...  Concernant les perceptions extra sensorielles, je pense que nous avons les capacités à l'heure actuelle de les développer, mais seul un petit nombre de personnes ont accès à ses compétences parce qu'ils y investissent leur énergie et restent ouverts à toutes formes de ressentis et bizarreries extra humaines... Enfin, cela paraît extra humain à l'heure actuelle, car hors 'norme' humaine. A l'échelle des temps, ces bizarreries extra sensorielles surprenantes seront banalisées et normalisées d'ici quelques générations... Il n'y a qu'à regarder les enfants actuels pour s'apercevoir de leurs capacités extraordinaires!  Bien sûr ce n'est que de l'information supplémentaire pour ouvrir encore ton champ de Conscience! Et oui il existe des médecins encore plus zinzin que ton sujet de thèse... Espérons que ton jury ait l'esprit ouvert et novateur pour comprendre l'aspect subtil sous-tendu par ton sujet! Bon courage!</p>
<p>La fragilité et les imperfections de l'être humain sont aussi sa richesse  en visant la perfection on va se planter</p>
<p>La majorité des questions ne sont pas en rapport avec la question principale avancée (à savoir l'espérance de vie idéale en état de santé optimal), et traite de l'eugénisme. A se demander ce que vous souhaitez tirer comme conclusion de ce questionnaire.</p>
<p>La majorité des questions ne sont pas en rapport avec la question principale avancée (à savoir l'espérance de vie idéale en état de santé optimal), et traite de l'eugénisme. A se demander ce que vous souhaitez tirer comme conclusions de ce questionnaire.</p>
<p>La plupart des êtres humains sont sûrement favorables aux manipulations génétiques et transgénisme dans un but curatif. Le problème est que l'Homme étant ce qu'il est, l'histoire nous a déjà prouvé qu'il ne pourra pas s'arrêter là...  La manipulation génétique est une énorme boîte de pandore à laquelle l'humanité n'a jamais été confrontée. Toutes les commissions d'éthiques ne sauront la contenir que pour un temps limité....et là, il y a fort à parier que ce qui devrait être un plus pour l'humanité conduira à sa perte...</p>
<p>La vie fait bien les choses, si l'Homme pense qu'il a tout compris et qu'il se met à modifier l'équilibre minutieux qui est en place, la race humaine va dégénérer et des maladies bien plus graves vont se développer. Nous sommes des apprentis sorciers ! Favorisons les mécanismes biologiques naturels et respectons la vie. Nous voulons accéder à l'immortalité sans vivre au présent. Nous négligeons notre propre vie (boulot, metro, dodo, stress et speed +++), le seul moment de respect est lorsqu'on est malade ! La bonne santé ne s'achète pas, elle se cultive. A méditer</p>
<p>Le 'prix' de la vie est en grande partie contenu dans le fait que l'on ne connaît ni le jour ni l'heure, quelle goutte aura-t-elle si on peut en décider à l'avance ? Le bonheur est aussi dans les cycles de la vie, on se lasse puis on passe à autre chose (travail, amour(s), passions...). Sans compter le problème démographique, les ressources planétaires, l'emploi...</p>

<p>Très intéressant mais extrêmement complexe d'envisager les tenants et aboutissants des réponses à ces questions, heureusement que la technologie ne va pas aussi vite pour laisser le temps de la maturation... le plus gros problème sera certainement la sélection des personnes qui auront accès à ces 'options' par les moyens financier...</p>
<p>Le pb n'est pas mon désir personnel  Pas de choix personnel sans conséquences collectives : mes dépenses pour être immortel empêcheraient un moins fortuné de se soigner. Vouloir le post-humanisme pour soi est inhumain pour ceux qui n'ont pas le luxe de ce fantasme</p>
<p>Le problème d'une immortalité ou d'un vieillissement stoppé est avant tout socio-économique et non médical.</p>
<p>Le problème est que si l'on maîtrise certaines techniques, pour un usage thérapeutique, il pourrait y avoir utilisation de ces techniques pour obtenir 'l'homme augmenté' ou pour éradiquer certaines catégories de population. Dans ce questionnaire, il n'est malheureusement pas possible de nuancer les réponses : possibilité d'usage de ces techniques dans un cadre très réglementé pour éviter toute déviation. J'ai répondu à la question 14, y étant obligée mais je pense qu'une augmentation de la durée de vie trop importante serait incompatible avec les ressources terrestres et la pérennité d'une société relativement stable.</p>
<p>Le progrès technologique entraîne une diminution de l'espérance de vie (depuis 10 ans outre-Atlantique et depuis 3 ans en France, d'un trimestre/an), et une diminution de l'intelligence (4 points de QI en 10 ans en France). Il vaudrait mieux envisager le progrès des humanités (bienveillance, partage, empathie, convivialité) car la paix et la redistribution des richesses sont plus efficaces pour allonger l'espérance de vie. Quatre pays en 2017 souffrent de famine.</p>
<p>Ce questionnaire est orienté 'technologie'. Or l'évolution de la technologie entraîne un épuisement des ressources, une pollution du corps et de l'esprit, et une dégradation de l'environnement, toutes conséquences propres à altérer la vie humaine en quantité et en qualité. Vous faites fausse route, le progrès ne peut venir que par la sortie de la barbarie, où les armes, les murs entre peuples et le quasi-esclavage des travailleurs pauvres n'ont plus leur place.</p>
<p>Les modifications avantageuses chez des personnes non malades à proscrire ou alors réglementé (personnel militaire, aviation...) car risques de dérives frauduleuses</p>
<p>les questions concernant le 'post humains' devraient comporter une case je ne sais pas, c'est très flou comme question  la question sur l'espérance de vie est également inutile et ininterprétable : qu'en ferez-vous donc? forcément cela dépend de l'état d'esprit dans lequel on se trouve à un moment X et pas face à la mort, de la même manière que les directives anticipées où finalement le patient face à sa propre mort imminente est bien souvent capable de renoncer à sa prétendue dignité pour quelques jours de plus... bref des questions simplistes qui tentent de faire perdre leur profondeur aux grandes questions d'Ethique médicale. Dommage.</p>
<p>Les questions sont trop fermées et ne laissent pas la possibilité de répondre en nuance ce qui est forcément le cas dans quasi toutes vos questions.  C'est très dommage car d'une part j'ai failli arrêter le questionnaire en plein milieu, le considérant comme non pertinent et ne reflétant pas correctement mes opinions. J'ai tout de même continué pour pouvoir vous laisser ce message que vous prendrez comme une critique, certes un peu 'rude' mais néanmoins constructive.  Attention donc aux conclusions que vous allez en tirer.</p>
<p>Les questions sont trop floues et trop ouvertes pour y répondre simplement favorables et défavorables étant donné la complexité des cas multiples particuliers... les préciser serait peut-être intéressant</p>
<p>Malheureusement ce questionnaire ne permet que de répondre par 'favorable' ou 'défavorable' sur des questions d'éthique complexes qui relèveraient sur le plan médical du cas par cas...  Par ailleurs, peut-être faut-il faire la différence entre améliorer la qualité de vie de personnes handicapées et le phénomène naturel de renouvellement qu'est la mort.</p>
<p>Nos études de médecine et notre métier ne nous rendent pas immortels ..mais parfois nous l'oublions ...  Carpe diem  Bon courage pour votre travail de thèse</p>
<p>Nous épuisons déjà les ressources de notre planète avec notre espérance de vie actuelle, quelle misère ce serait si on vivait encore plus longtemps avec la même natalité, à moins de stopper la possibilité d'avoir des enfants....trop égoïste pour moi</p>

OK pour changer un organe déficient ou améliorer une pathologie si la personne se sent handicapé. ..
On sent l'amateur de film de science-fiction. Mais, il faut l'avouer il y a beaucoup de questions à se poser autour de ce sujet.
Original et déroutant.
par apport la toute dernière question : qu'est-ce que c'est la vie? la mort? de quoi? les particules changent juste le mode d'organisation.
pas de fil conducteur entre les questions, qui sont parfois très variées entre elles. certaines mériteraient un approfondissement pour permettre des nuances dans les réponses.
Plusieurs questions auraient mérité un 'je ne sais pas'
Pour certaine question j'aurais répondu : autre ou ne sait pas plutôt que oui ou non
Pour la question 9 je pense qu'il aurait fallu détailler chaque catégorie de posthumains. Je pense qu'il faut un mélange des gènes génération après génération ce qui permet au genre humain de progresser et donc avoir une durée de vie limitée par le processus de vieillissement naturel.
Difficile de répondre à certaines questions, c'est encore de la science-fiction pour beaucoup, mais intéressant de se projeter justement, ces 'progrès' arriveront sans doute plus vite qu'on ne le pense.
Questionnaire et sujet de travail très intéressant. Néanmoins ce type de questions est trop complexes pour des réponses oui/non Favorable /défavorable. Les réponses sont aussi complexe.
Questionnaire très intéressant. Concernant la question de l'égalité des droits entre humains et IA, mon premier réflexe serait d'abord de savoir si elle/il serait soumise aux 3 lois de la robotique d'Asimov (cf fondation). Mais une IA souhaiterait-elle un travail ? un droit de vote ? En fait, la question serait de savoir quels sont les objectifs du programmeur. Je suis plutôt contre le transhumanisme chez les personnes saines car cela aboutirait à une forme trop prononcée d'écart entre riches et pauvres, ce type de techno étant surtout développé dans le monde anglo-saxon. Probablement que ma réponse serait différente si l'accès ne serait pas dépendante du revenu/ethnie/couleur de peau/sexe/religion... Je suis contre l'incubation en raison du risque de ferme d'élevage d'enfants, et du fait que la grossesse n'est pas juste contenir un embryon dans un utérus, mais aussi un ensemble d'interactions psycho-sensorielles entre les parents et l'enfant en devenir. J'espère être clair.
Questions parfois ambivalentes quant à l'objectif des modifications et à leur utilisations
Réponse 6: 10000 ans A CONDITION que les êtres qui me sont chers ne meurent pas avant moi. Cette donnée est essentielle.
reponses parfois difficiles car n'est pas précisé si l'acte rentre dans le cadre d'un acte de soins ou de confort... par exemple 'prothese sensorielle chez un non deficient (ameliorer la vue etc...)' je suis contre en France car si c'est considéré comme acte medical c'est remboursé par la communauté: pour moi l'acte médical soigne des malades et non pas améliore les capacités d' un sujet sain, en revanche tout comme le dopage, je pense que les hommes doivent etre responsables de ce qu'il font pour/ subir à/ leur corps...ex FIV chez une femme non stérile ok mais non remboursé Sécu (l'homosexualité n'est pas une maladie) de même prothèse sensorielle chez un sujet sain ok mais à ses frais et il assume les conséquences si il y a...

<p>Restons humbles , modifier le génome humain c'est jouer aux apprentis sorciers avec des conséquences qui peuvent être catastrophiques et engager des générations.</p> <p>On peut déjà sacrément améliorer la qualité et l'espérance de vie des travailleurs... en améliorant leurs conditions de vie, de nutrition, de rémunération ! et aussi pour les sans-emploi, en leur permettant de s'épanouir dans un métier qui leur convient !</p> <p>Aider les femmes qui procréent en aménageant mieux leur travail, et les conditions de travail après la naissance ! Ca paraît quand même plus abordable que de faire du bidouillage sophistiqué sur l'ADN, non ?</p> <p>Et pourtant le partage des richesses dans l'espèce humaine, c'est loin d'être gagné...</p> <p>Restons d'abord médecins, soignants, et les pieds sur terre.</p> <p>Ne mettons pas la science médicale au service des plus grands fantasmes de l'humanité.</p> <p>Au contraire, servons-nous de notre art et de notre savoir pour recentrer le débat.</p>
<p>Sujet de thèse passionnant, avec des questions pertinentes soulevées régulièrement en science-fiction sur tous médias. Questions bien posées. Félicitations pour cette idée !!</p>
<p>Sujet passionnant dont j'aimerais connaître les résultats au questionnaire. Sujet insuffisamment débattu à mon goût.</p>
<p>Sujets sensibles. Il n'est pas évident d'avoir un avis tranché</p>
<p>Sur un plan philosophique, je suis contre une interruption du cycle de la vie qui comprend de manière intrinsèque la mort.</p> <p>Par conséquent, je suis contre une augmentation rapide de l'espérance de vie par l'utilisation de machines.</p>
<p>Totale impasse sur le fait que c'est un problème collectif et non individuel</p>
<p>Tout dépend l'âge de la retraite...</p>
<p>Travail de thèse très intéressant. Que de questions essentielles et un peu 'effrayantes'.</p>
<p>Travail original et qui ouvre bcp de questions en très peu de temps</p> <p>il y a 2 questions (9 &amp; 14) pour lesquelles j'aurais aimé pouvoir ne pas me positionner.</p> <p>merci</p>
<p>Très intéressant, permet de découvrir tous ces concepts dont beaucoup m'étaient inconnus. Permet d'initier de manière personnelle une réflexion éthique.</p>
<p>Trop orienté</p> <p>Les problèmes d'éthique sont trop graves pour les prendre à la légère</p>
<p>Un peu court pour des sujets dont certains relèvent encore de la SF et dont les discussions philosophiques n'ont pas encore été posées (AI vs vie, clonage humain à but thérapeutique, etc...)</p>
<p>Un peu difficile sur ces questions éthiques de répondre oui/non (seulement sur celle un peu limites, les extrêmes sont facilement tranchées)</p>
<p>Vivre bien sa vie c'est déjà un beau programme... quand c'est trop long ca perd en saveur !</p>

# Bibliographie

1. Humanity+ » Transhumanist FAQ [Internet]. [cité 8 juin 2016]. Disponible sur: <http://humanityplus.org/philosophy/transhumanist-faq/>
2. Robitaille M. Culture du corps et technosciences : vers une « mise à niveau » technique de l'humain? Analyse des représentations du corps soutenues par le mouvement transhumaniste. 9 juill 2009 [cité 14 juin 2016]; Disponible sur: <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/2824>
3. Alex L, re. Laurent Alexandre « Transhumain oui Posthumain Non » [Internet]. La Revue du Cube. 2013 [cité 23 juin 2016]. Disponible sur: <http://www.cuberevue.com/transhumain-oui-posthumain-non/2293>
4. Humanity+ » Transhumanist Declaration [Internet]. [cité 8 juin 2016]. Disponible sur: <http://humanityplus.org/philosophy/transhumanist-declaration/>
5. ccne.avis\_ndeg122.pdf [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: [http://www.ccne-ethique.fr/sites/default/files/publications/ccne.avis\\_ndeg122.pdf](http://www.ccne-ethique.fr/sites/default/files/publications/ccne.avis_ndeg122.pdf)
6. PricewaterhouseCoopers. Apple demeure l'entreprise la mieux valorisée au monde, mais se fait rattraper par Alphabet [Internet]. PwC. [cité 19 oct 2016]. Disponible sur: <http://www.pwc.fr/fr/espace-presse/communiqués-de-presse/2016/juillet/apple-demeure-lentreprise-la-mieux-valorisee-au-monde-mais-se-fait-rattraper-par-alphabet.html>
7. Google's stealthy anti-aging startup | Fortune.com [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <http://fortune.com/2013/09/19/googles-stealthy-anti-aging-startup/>
8. Wang G, Han T, Nijhawan D, Theodoropoulos P, Naidoo J, Yadavalli S, et al. P7C3 neuroprotective chemicals function by activating the rate-limiting enzyme in NAD salvage. *Cell*. 11 sept 2014;158(6):1324-34.
9. Introducing our smart contact lens project [Internet]. Official Google Blog. [cité 20 oct 2016]. Disponible sur: <https://googleblog.blogspot.com/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html>
10. Rushe D. Google launches « smart » spoon to help steady shaking hands. *The Guardian* [Internet]. 25 nov 2014 [cité 20 oct 2016]; Disponible sur: <https://www.theguardian.com/technology/2014/nov/25/google-launches-smart-spoon-shaking-hands-liftware>
11. McKenna A, Hanna M, Banks E, Sivachenko A, Cibulskis K, Kernytzky A, et al. The Genome Analysis Toolkit: A MapReduce framework for analyzing next-generation DNA sequencing data. *Genome Res*. 1 sept 2010;20(9):1297-303.
12. Dean J, Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. *Commun ACM*. janv 2008;51(1):107-113.
13. Gibbs S. Google is developing a cancer and heart attack-detecting pill. *The Guardian* [Internet]. 29 oct 2014 [cité 20 oct 2016]; Disponible sur: <https://www.theguardian.com/technology/2014/oct/29/google-cancer-heart-attack-detecting-pill>
14. Beheim BA, Thigpen C, Mcelreath R. Strategic social learning and the population dynamics of human behavior: the game of Go. *Evol Hum Behav*. 1 sept 2014;35(5):351-7.
15. 23andMe AU, DE, FR & EU - Genetic kit for ancestry | DNA Service [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <https://www.23andme.com/en-int/>
16. 23andMe obtient une autorisation de mise sur le marché témoignant de l'avancement

- de la FDA dans la réglementation des tests génétiques - Mission pour la Science et la Technologie de l'Ambassade de France aux Etats-Unis [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <https://www.france-science.org/23andMe-obtient-une-autorisation.html>
17. Nanomatériaux, nanoparticules. Ce qu'il faut retenir - Risques - INRS [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/risques/nanomateriaux/ce-qu-il-faut-retenir.html>
  18. Torchilin VP. Nanoparticulates as Drug Carriers. Imperial College Press; 2006. 758 p.
  19. 08-05 Nanosciences et médecine | Académie nationale de médecine [Internet]. [cité 31 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.academie-medecine.fr/publication100035900/>
  20. Bonvalot S, Le Pechoux C, De Baere T, Kantor G, Buy X, Stoeckle E, et al. First-in-Human Study Testing a New Radioenhancer Using Nanoparticles (NBTXR3) Activated by Radiation Therapy in Patients with Locally Advanced Soft Tissue Sarcomas. Clin Cancer Res Off J Am Assoc Cancer Res. 6 oct 2016;
  21. Burgess R. Understanding Nanomedicine: An Introductory Textbook. CRC Press; 2012. 526 p.
  22. Freitas Robert. A Jr. Exploratory Design in Medical Nanotechnology : A Mechanical Artificial Red Cell". Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobil. Biotech. 1988.
  23. Rogers B, Adams J, Pennathur S. Nanotechnology: Understanding Small Systems, Third Edition. CRC Press; 2014. 432 p.
  24. Nakhleh MK, Amal H, Jeries R, Broza YY, Aboud M, Gharra A, et al. Diagnosis and Classification of 17 Diseases from 1404 Subjects via Pattern Analysis of Exhaled Molecules. ACS Nano. 24 janv 2017;11(1):112-25.
  25. Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. Science. 17 août 2012;337(6096):816-21.
  26. Genome Editing in Mice Using CRISPR/Cas9: Achievements and Prospects. Cloning Transgenesis [Internet]. 2015 [cité 24 juin 2017];2015. Disponible sur: <http://www.readcube.com/articles/10.4172/2168-9849.1000135>
  27. Liang P, Xu Y, Zhang X, Ding C, Huang R, Zhang Z, et al. CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human triploid zygotes. Protein Cell. 18 avr 2015;6(5):363-72.
  28. Cyranoski D. CRISPR gene-editing tested in a person for the first time. Nat News. 24 nov 2016;539(7630):479.
  29. Hammond A, Galizi R, Kyrou K, Simoni A, Siniscalchi C, Katsanos D, et al. A CRISPR-Cas9 gene drive system targeting female reproduction in the malaria mosquito vector Anopheles gambiae. Nat Biotechnol. janv 2016;34(1):78-83.
  30. JCVI: First Self-Replicating, Synthetic Bacterial Cell Constructed by J. Craig Venter Institute Researchers [Internet]. [cité 27 févr 2017]. Disponible sur: <http://www.jcvi.org/cms/press/press-releases/full-text/article/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell-constructed-by-j-craig-venter-institute-researcher/home/>
  31. Pennisi E. Building the Ultimate Yeast Genome. Science. 28 mars 2014;343(6178):1426-9.
  32. Dymond J, Boeke J. The Saccharomyces cerevisiae SCRaMbLE system and genome minimization. Bioeng Bugs. juin 2012;3(3):168-71.
  33. HiSeq X Ten | 1000 dollar genome sequencing [Internet]. [cité 27 janv 2017]. Disponible sur: <https://www.illumina.com/systems/hiseq-x-sequencing-system/system.html>
  34. Oxford Nanopore Technologies [Internet]. [cité 27 janv 2017]. Disponible sur: <https://nanoporetech.com/>

35. Regalado A. High Stakes for Radical New DNA Technology from Oxford Nanopore [Internet]. MIT Technology Review. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <https://www.technologyreview.com/s/530746/radical-new-dna-sequencer-finally-gets-into-researchers-hands/>
36. Quick J, Loman NJ, Duraffour S, Simpson JT, Severi E, Cowley L, et al. Real-time, portable genome sequencing for Ebola surveillance. *Nature*. 11 févr 2016;530(7589):228-32.
37. Comité consultatif National d’Ethique pour les Sciences de la vie et de la santé, numéro 124, Réflexion éthique sur l’évolution des tests génétique liée au séquençage de l’ADN humain à très haut débit. Avis rendu public le 21 janvier 2016. [Internet]. Available from: [http://www.ccne-ethique.fr/sites/default/files/publications/ccne\\_avis\\_124.pdf](http://www.ccne-ethique.fr/sites/default/files/publications/ccne_avis_124.pdf).
38. The International Cancer Genome Consortium for Medicine (ICGCmed) will link genomics data to clinical information, health and response to therapies | ICGC med [Internet]. [cité 27 janv 2017]. Disponible sur: <https://icgcmed.org/>
39. Médecine personnalisée du cancer [Internet]. [cité 27 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.inserm.fr/thematiques/cancer/dossiers/medecine-personnalisee-du-cancer>
40. Biomarqueurs prédicteurs et nouvelles stratégies moléculaires en thérapeutique anti-cancéreuse | Université Paris Saclay [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/recherche/laboratoire/biomarqueurs-predicteurs-et-nouvelles-strategies-moleculaires-en-therapeutique>
41. Recherche sur les cancers : tout s’accélère / Espace Journalistes [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/espace-journalistes/recherche-sur-les-cancers-tout-s-accelere>
42. La révolution métagénomique [Internet]. CNRS Le journal. [cité 27 janv 2017]. Disponible sur: <https://lejournal.cnrs.fr/articles/la-revolution-metagenomique>
43. Le Chatelier E, Nielsen T, Qin J, Prifti E, Hildebrand F, Falony G, et al. Richness of human gut microbiome correlates with metabolic markers. *Nature*. 29 août 2013;500(7464):541-6.
44. La mort de la mort | JC Lattès, Le Masque [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.editions-jclattes.fr/la-mort-de-la-mort-9782709636803>
45. McGirr A, Lipina TV, Mun H-S, Georgiou J, Al-Amri AH, Ng E, et al. Specific Inhibition of Phosphodiesterase-4B Results in Anxiolysis and Facilitates Memory Acquisition. *Neuropsychopharmacol Off Publ Am Coll Neuropsychopharmacol*. mars 2016;41(4):1080-92.
46. Takahashi K, Yamanaka S. Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*. 25 août 2006;126(4):663-76.
47. Takahashi K, Tanabe K, Ohnuki M, Narita M, Ichisaka T, Tomoda K, et al. Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors. *Cell*. 30 nov 2007;131(5):861-72.
48. Wernig M, Zhao J-P, Pruszak J, Hedlund E, Fu D, Soldner F, et al. Neurons derived from reprogrammed fibroblasts functionally integrate into the fetal brain and improve symptoms of rats with Parkinson’s disease. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 15 avr 2008;105(15):5856-61.
49. Nori S, Okada Y, Yasuda A, Tsuji O, Takahashi Y, Kobayashi Y, et al. Grafted human-induced pluripotent stem-cell-derived neurospheres promote motor functional recovery after spinal cord injury in mice. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 4 oct 2011;108(40):16825-30.
50. Shiba Y, Gomibuchi T, Seto T, Wada Y, Ichimura H, Tanaka Y, et al. Allogeneic

transplantation of iPS cell-derived cardiomyocytes regenerates primate hearts. *Nature*. 20 oct 2016;538(7625):388-91.

51. Ravassard P, Hazhouz Y, Pechberty S, Bricout-Neveu E, Armanet M, Czernichow P, et al. A genetically engineered human pancreatic  $\beta$  cell line exhibiting glucose-inducible insulin secretion. *J Clin Invest*. 1 sept 2011;121(9):3589-97.

52. Lapasset L, Milhavet O, Prieur A, Besnard E, Babled A, Ait-Hamou N, et al. Rejuvenating senescent and centenarian human cells by reprogramming through the pluripotent state. *Genes Dev*. 1 nov 2011;25(21):2248-53.

53. Tachibana M, Amato P, Sparman M, Gutierrez NM, Tippner-Hedges R, Ma H, et al. Human embryonic stem cells derived by somatic cell nuclear transfer. *Cell*. 6 juin 2013;153(6):1228-38.

54. Le clonage somatique : un état des lieux chez les bovins et les petits ruminants [Internet]. [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2016218137>

55. Reprogrammation et épigénèse [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:119188>

56. L'Utérus artificiel, Henri Atlan, Documents - Seuil | Editions Seuil [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.seuil.com/ouvrage/l-uterus-artificiel-henri-atlan/9782020799782>

57. Shahbazi MN, Jedrusik A, Vuoristo S, Recher G, Hupalowska A, Bolton V, et al. Self-organization of the human embryo in the absence of maternal tissues. *Nat Cell Biol*. juin 2016;18(6):700-8.

58. Challier J-C. Quel avenir pour lâ€™ectogénèse et la transplantation dâ€™utérus ? Médecine Thérapeutique Médecine Reprod Gynécologie Endocrinol. 1 janv 2013;15(1):39-47.

59. Kuwabara Y, Okai T, Imanishi Y, et al. Development of extrauterine fetal incubation system using extracorporeal membrane oxygenator. *Artif Organs* 1987 ; 11 : 224-227.

60. Partridge EA, Davey MG, Hornick MA, McGovern PE, Mejaddam AY, Vrecenak JD, et al. An extra-uterine system to physiologically support the extreme premature lamb. *Nature Communications*. 2017 Apr 25;8:ncomms15112.

61. Boutron P. *Le Virus de Jouvence*. La Pensée universelle; 1975. 156 p.

62. Fahy GM, Wowk B, Wu J, Phan J, Rasch C, Chang A, et al. Cryopreservation of organs by vitrification: perspectives and recent advances. *Cryobiology*. avr 2004;48(2):157-78.

63. McIntyre RL, Fahy GM. Aldehyde-stabilized cryopreservation. *Cryobiology*. déc 2015;71(3):448-58.

64. Ettinger RCW, Tandy C, Perry RM. *The Prospect of Immortality*. Ria University Press; 2005. 304 p.

65. Blendon RJ, Gorski MT, Benson JM. The Public and the Gene-Editing Revolution. *N Engl J Med*. 14 avr 2016;374(15):1406-11.

66. Sondage Ifop pour Alliance VITA : Les Français et la technique du CRISPR-Cas9 [Internet]. Alliance Vita. 2016 [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.alliancevita.org/2016/05/sondage-ifop-pour-alliance-vita-les-francais-et-la-technique-du-crispr-cas9/>

67. The Human Brain Project | EPFL [Internet]. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <http://bluebrain.epfl.ch/page-52741-en.html>

68. Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry. - PubMed - NCBI [Internet]. [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26451489>
69. John T Steven. Global Issues and Ethical Considerations in Human Enhancement Technologies. IGI Global; 2014. 349 p.
70. Oxley TJ, Opie NL, John SE, Rind GS, Ronayne SM, Wheeler TL, et al. Minimally invasive endovascular stent-electrode array for high-fidelity, chronic recordings of cortical neural activity. *Nat Biotechnol.* mars 2016;34(3):320-7.
71. A brain–spine interface alleviating gait deficits after spinal cord injury in primates : Nature : Nature Research [Internet]. [cité 16 août 2017]. Disponible sur: <http://www.nature.com/nature/journal/v539/n7628/full/nature20118.html>
72. Essais cliniques [Internet]. [cité 8 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.carmatsa.com/fr/coeur-carmat/essais-cliniques>
73. Réseau CHU: Implantation d'un larynx artificiel chez l'homme – 1ère mondiale à Strasbourg [Internet]. [cité 8 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.reseau-chu.org/article/implantation-dun-larynx-artificiel-chez-lhomme-une-1ere-mondiale-a-strasbourg/>
74. Debry C, Vrana NE, Dupret-Bories A. Implantation of an Artificial Larynx after Total Laryngectomy. *N Engl J Med.* 5 janv 2017;376(1):97-8.
75. Raguin T, Carvalho J, Riehm S, Takeda C, Dupret–Bories A. Method for dealing with severe aspiration using a new concept of intralaryngeal prosthesis: A case report. *Head Neck.* 1 oct 2016;38(10):E2504-7.
76. ExVive™ Human Liver Tissue Performance - Organovo [Internet]. [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <http://organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue-performance/>
77. ExVive™ Human Kidney Tissue [Internet]. Organovo. [cité 9 janv 2017]. Disponible sur: <http://organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive-kidney-tissue/>
78. Talwar SK, Xu S, Hawley ES, Weiss SA, Moxon KA, Chapin JK. Behavioural neuroscience: Rat navigation guided by remote control. *Nature.* 2 mai 2002;417(6884):37-8.
79. Brain Researcher José Delgado Asks— ‘What Kind of Humans Would We Like to Construct?’ - The New York Times [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.nytimes.com/1970/11/15/archives/brain-researcher-jose-delgado-asks-what-kind-of-humans-would-we.html>
80. Horgan J. The Forgotten Era of Brain Chips. *Sci Am.* 2005;293(4):66-73.
81. Warwick, K.; Gasson, M.; Hutt, B.; Goodhew, I.; Kyberd, P.; Andrews, B.; Teddy, P.; Shad, A. (2003). « The Application of Implant Technology for Cybernetic Systems ». *Archives of Neurology.* 60 (10): 1369–73. doi:10.1001/archneur.60.10.1369. PMID 14568806.
82. A direct brain interface based on event-related potentials - IEEE Xplore Document [Internet]. [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <http://ieeexplore.ieee.org/document/847809/?reload=true>
83. Tchon K, Gasparski WW. A Treatise on Good Robots: Praxiology, Volume 21. Transaction Publishers; 2013. 217 p.
84. Pais-Vieira M, Lebedev M, Kunicki C, Wang J, Nicolelis MAL. A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information. *Sci Rep.* 28 févr 2013;3:srep01319.
85. 170524-hsbc-trust-in-technology.pdf [Internet]. [cité 19 août 2017]. Disponible sur:

- <https://iatranshumanisme.com/wp-content/uploads/2017/06/170524-hsbc-trust-in-technology.pdf>
86. Le supercalculateur de Total devient le 1er calculateur mondial de l'Industrie | total.com [Internet]. [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <http://www.total.com/fr/medias/actualite/communiqués/le-supercalculateur-de-total-devient-le-1er-calculateur-mondial-de-lindustrie>
  87. Contrôle de l'état interne d'un atome unique piégé et expériences d'interférences à deux photons : vers l'information quantique avec des atomes neutres [Internet]. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00185446/>
  88. Wootters WK, Zurek WH. A single quantum cannot be cloned. *Nature*. 1 oct 1982;299:802.
  89. Roubert B. Approche semi-classique de l'information quantique. THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE 2010 sep 28.
  90. Saßmannshausen H, Deiglmayr J. Observation of Rydberg-Atom Macrodimers: Micrometer-Sized Diatomic Molecules. *Phys Rev Lett*. 19 août 2016;117(8):83401.
  91. D-Wave Systems Previews 2000-Qubit Quantum System | D-Wave Systems [Internet]. [cité 10 janv 2017]. Disponible sur: <http://www.dwavesys.com/press-releases/d-wave-systems-previews-2000-qubit-quantum-system>
  92. Perdomo-Ortiz A, Dickson N, Drew-Brook M, Rose G, Aspuru-Guzik A. Finding low-energy conformations of lattice protein models by quantum annealing. *Sci Rep*. 13 août 2012;2:571.
  93. Markoff J. In a Big Network of Computers, Evidence of Machine Learning. *The New York Times* [Internet]. 25 juin 2012 [cité 19 oct 2016]; Disponible sur: <http://www.nytimes.com/2012/06/26/technology/in-a-big-network-of-computers-evidence-of-machine-learning.html>
  94. Google Research Publication: Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning [Internet]. [cité 19 oct 2016]. Disponible sur: [http://research.google.com/archive/unsupervised\\_icml2012.html](http://research.google.com/archive/unsupervised_icml2012.html)
  95. Bock L. *Work Rules!: Insights from Inside Google That Will Transform How You Live and Lead*. Grand Central Publishing; 2015. 429 p.
  96. Notre livre blanc « Le Big Data va-t-il révolutionner les RH ? » est disponible en téléchargement [Internet]. Akoya Consulting. 2014 [cité 1 juill 2017]. Disponible sur: <http://www.akoyaconsulting.com/blog/2014/10/17/notre-etude-le-big-data-va-t-il-revolutionner-les-rh-est-disponible-en-telechargement/>
  97. Kuncel NR, Ones DS, Klieger DM. In Hiring, Algorithms Beat Instinct [Internet]. *Harvard Business Review*. 2014 [cité 12 sept 2016]. Disponible sur: <https://hbr.org/2014/05/in-hiring-algorithms-beat-instinct>
  98. Oncologists partner with Watson on genomics. *Cancer Discov*. août 2015;5(8):788.
  99. Doyle-Lindrud S. Watson will see you now: a supercomputer to help clinicians make informed treatment decisions. *Clin J Oncol Nurs*. févr 2015;19(1):31-2.
  100. Parodi S, Riccardi G, Castagnino N, Tortolina L, Maffei M, Zoppoli G, et al. Systems Medicine in Oncology: Signaling Network Modeling and New-Generation Decision-Support Systems. *Methods Mol Biol Clifton NJ*. 2016;1386:181-219.
  101. Inria. Leçon inaugurale de Nicholas Ayache au collège de France [Internet]. Inria. [cité 5 janv 2017]. Disponible sur: <https://www.inria.fr/actualite/actualites-inria/lecon-inaugurale-de-nicholas-ayache>
  102. Ayache N. De l'imagerie médicale à la médecine computationnelle. *Lett Collège Fr*. 1 mars 2015;(39):39.
  103. Insee - Définitions, méthodes et qualité - Espérance de vie [Internet]. [cité 3 août

- 2016]. Disponible sur:  
<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/esperance-vie.htm>
104. L'espérance de vie en France [Internet]. Ined - Institut national d'études démographiques. [cité 19 août 2017]. Disponible sur: <http://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/graphiques-cartes/graphiques-interpretes/esperance-vie-france/>
105. Évolution de la mortalité en France [Internet]. Ined - Institut national d'études démographiques. [cité 19 août 2017]. Disponible sur: <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/memos-demo/focus/evolutions-mortalite-france/>
106. Behaviour and health [Internet]. Cambridge Institute of Public Health. [cité 24 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.iph.cam.ac.uk/research-themes/behaviour-and-health/>
107. S1550-4131(16)30229-7.pdf [Internet]. [cité 19 août 2017]. Disponible sur: [http://www.cell.com/cell-metabolism/pdf/S1550-4131\(16\)30229-7.pdf](http://www.cell.com/cell-metabolism/pdf/S1550-4131(16)30229-7.pdf)
108. Longévité et nutrition : comment *C. elegans* vit plus longtemps grâce à son régime alimentaire - Communiqués et dossiers de presse - CNRS [Internet]. [cité 23 déc 2016]. Disponible sur: <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqués/2092.htm>
109. Mouchiroud L, Molin L, Kasturi P, Triba MN, Dumas ME, Wilson MC, et al. Pyruvate imbalance mediates metabolic reprogramming and mimics lifespan extension by dietary restriction in *Caenorhabditis elegans*. *Aging Cell*. févr 2011;10(1):39-54.
110. Longévité et surpopulation : déconstruire une idée reçue [Internet]. Association Française Transhumaniste. 2016 [cité 16 oct 2016]. Disponible sur: <http://transhumanistes.com/longevite-et-surpopulation-deconstruire-une-idee-recue/>
111. The World Factbook — Central Intelligence Agency [Internet]. [cité 16 oct 2016]. Disponible sur: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
112. SwissLife.fr. SwissLife.fr - Sondage OpinionWay pour Swiss Life : Les enjeux de l'allongement de la durée de vie [Internet]. SwissLife.fr. [cité 23 juin 2017]. Disponible sur: <http://www.swisslife.fr/Le-Groupe/L-Espace-Presse/Communiqués/Sondage-OpinionWay-pour-Swiss-Life-Les-enjeux-de-l-allongement-de-la-duree-de-vie>
113. Centenaire : une longévité qui en fait rêver plus d'un ! [Internet]. IPSOS FRANCE. [cité 21 août 2017]. Disponible sur: <http://www.ipsos.fr/decrypter-societe/2017-06-29-centenaire-longevite-qui-en-fait-rever-plus-d>
114. Centenaire : une longévité qui en fait rêver plus d'un ! [Internet]. IPSOS FRANCE. [cité 21 août 2017]. Disponible sur: <http://www.ipsos.fr/decrypter-societe/2017-06-29-centenaire-longevite-qui-en-fait-rever-plus-d>
115. Note\_de\_synthese\_N14\_Homme\_augmente.pdf [Internet]. [cité 21 août 2017]. Disponible sur: [http://www.credoc.fr/pdf/Sou/Note\\_de\\_synthese\\_N14\\_Homme\\_augmente.pdf](http://www.credoc.fr/pdf/Sou/Note_de_synthese_N14_Homme_augmente.pdf)

# RESUME

## **Objectif**

Le Transhumanisme est un mouvement qui prône la synergie des nanotechnologies, des biotechnologies, de l'intelligence artificielle et des sciences cognitives (NBIC) pour modifier les caractéristiques physiques et psychiques des humains et augmenter l'espérance de vie (EdV).

Cette étude devait évaluer la pénétrance des concepts Transhumanistes et l'EdV en état de santé optimal souhaité pour eux-mêmes par les médecins français.

## **Matériel et méthodes**

Nous avons réalisé une étude quantitative observationnelle transversale par questionnaire Internet auto-administré relayé par mailing d'institutions médicales (CHU, hôpitaux et cliniques, centres de recherche, associations et syndicats).

Les critères d'inclusion étaient d'être médecin ou interne en exercice en France en 2017.

Les critères d'évaluation principaux étaient l'EdV en état de santé optimal choisi et le degré de pénétrance des concepts Transhumanistes chez les médecins français. Les critères secondaires étaient une association entre critères principaux et âge, sexe, croyance en une vie après la mort.

## **Résultats**

Du 15/01/2017 au 30/06/2017, 624 personnes ont répondu au questionnaire, 560 ont complété intégralement le questionnaire. La population comprenait 59,64 % de femmes. La tranche d'âge 20-35 ans était majoritaire avec 68,93 % des participants. Les médecins choisissaient une EdV entre [88-110] ans à 48,14 % (100 ans pour 26,25 %, 90 ans pour 13,05 %), entre [80-85] ans pour 17,10 % et une sénescence négligeable (EdV de 10 000 ans) à 8,55 %. Les médecins étaient favorables à 90,78 % aux avancées Transhumanistes lorsqu'il s'agissait de traitement curatif mais seulement à 14,91 % pour les modifications amélioratives.

## **Conclusion**

Cette étude montre que la majorité des médecins que nous avons interrogés souhaite avoir une EdV légèrement supérieure à l'EdV actuelle, cependant un groupe non négligeable, surtout des hommes souhaitent avoir une

espérance de vie illimitée. Globalement les médecins étaient ouverts aux avancées Transhumanistes lorsqu'il s'agit de soigner mais se montraient réticents aux dérives de l'*human enhancement*. Cependant, notre étude n'était pas représentative de la population des médecins français puisque nous avons une sur-représentativité de femmes et de jeunes.

**Mots-clés :** Transhumanisme, Posthumain, espérance de vie, augmentation de la longévité, amélioration humaine, sociologie de la médecine, nanotechnologie, biotechnologie, intelligence artificielle, science cognitive

## ABSTRACT

### Introduction

Transhumanism is a movement that advocates the synergy of NBIC (nanotechnology, biotechnology, artificial intelligence and cognitive science) to modify the physical and psychological characteristics of humans and increase life expectancy (LiEx). This study aimed to evaluate the penetration of Transhumanist concepts and LiEx in optimal health wished by French doctors for themselves.

### Methods

We carried out a cross-sectional observational quantitative study using a self-administered Internet questionnaire relayed by mailing from medical institutions (hospitals and clinics, research centers, associations and unions).

The inclusion criteria was to be a doctor or a resident practicing in France in 2017.

The main evaluation criteria were the LiEx in optimal state of health chosen and the degree of penetration of the Transhumanist concepts among French doctors.

The secondary criteria was an association between main criteria and age, sex or belief in a life after death

### Results

Between 15/01/2017 and 30/06/2017, 624 people answered to the questionnaire, 560 completed the questionnaire in its entirety. The population was composed of 59,64 % of women. The age group 20-35 years represented the majority with 68,93 % of the participants. 48,14 % of doctors chose to have an LiEx between [88-110] years (100 years for 26,25 %, and 90 years for 13,05 %), 17,10 % between [80-85] years or a negligible senescence for 8,55 % of them who chose a LiEx of 10,000 years.

90,78 % doctors were favorable to transhumanist advances for curative treatment but only 14,91 % were favorable to *human enhancements*.

### Conclusion

This study shows that the majority of French doctors we interviewed wanted to have a LiEx slightly higher than the current LiEx, however a significant group, especially men, wish to have an unlimited LiEx. Overall doctors were open to Transhumanist advances when it comes to healing but were reluctant to the drifts of *human enhancement*. However, our study was not perfectly representative of the French doctor population as we had an over-representation of women and young people.

**Key words:** Transhumanism, Posthuman, life expectancy, human enhancement, medical sociology, nanotechnology, biotechnology, artificial intelligence, cognitive science.

# Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque

