

ProspectTIC

Jean-Michel Cornu

**Nouvelles
technologies,
nouvelles
pensées ?**

À Marie-Line

Copyright © 2008 FYP éditions

Copyright © 2008 Fing

Le contenu de l'ouvrage a été élaboré dans le cadre de la démarche ProspecTIC de la Fing. Ce programme est destiné à rendre accessible l'état de la prospective technologique aux décideurs, aux relais d'opinion et à tout public.

La **Fing** (Fondation internet nouvelle génération) est une association dont la mission est de repérer, stimuler et valoriser l'innovation dans les services et les usages du numérique et des réseaux.

www.fing.org



*Un ouvrage de culture scientifique présenté par Philippe Bultez Adams
pour la collection Innovation - contact@fypeditions.com*

Édition : Florence Devesa

Révision : Correcteurs en Limousin

Couverture : Séverine David

Illustrations : Isabelle Jovanovich / FING

Photogravure : IGS

Ce livre a été imprimé sur les presses de l'imprimerie Chirat.

Diffusion : Pearson Education France

Distribution : MDS

© 2008, FYP éditions, Limoges (France)

ISBN : 978-2-916571-03-4

www.fypeditions.com



Le Code de propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Remerciements

Conçu au sein du programme ProspectTIC de la FING (Fondation internet nouvelle Génération) le contenu de cet ouvrage est également le fruit d'échanges avec les équipes de plusieurs organisations, en particulier Orange Labs et de son projet Futurology, la Délégation générale à l'innovation et au développement durable de la RATP et le comité de veille de Laser. Des partenariats ont également été noués avec l'Institut de l'Entreprise 2.0 et Prospective 2100.

Le programme ProspectTIC de la FING et soutenu par les grands partenaires : Caisse des Dépôts et Consignations, Laser, Orange, RATP, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Conseil général des Bouches-du-Rhône, la ville de Marseille, et la CCI Marseille-Provence.

Je remercie tout particulièrement Rémi Sussan, journaliste à *Internet Actu*, qui a relu les textes bruts, ajouté des compléments essentiels, et parfois même débroussaillé des domaines complets. Je remercie également Aurialie Jublin de la Fing, qui a traqué les fautes des premières versions des textes avec une redoutable efficacité ; Daniel Kaplan, délégué général de la Fing, qui a proposé de très nombreuses améliorations ; ainsi que Philippe Bultez Adams et Florence Devesa les éditeurs, qui ont su s'adapter aux multiples contraintes de ce projet pharaonique pour en faire un ouvrage.

Le livre a été élaboré durant un an à partir de nombreux échanges. Les relecteurs experts ont été très sollicités, au point que l'on peut considérer qu'il s'agit d'un ouvrage collectif dont j'ai été le scribe.

Chaque chapitre a subi des relectures successives par des spécialistes mais également des « candides » pour permettre d'allier la justesse du propos à un niveau de pédagogie accessible au plus grand nombre.

Les relecteurs, ou faudrait-il dire les co-concepteurs de cet ouvrage, viennent d'horizons très variés. Ils ont su, par leur ouverture d'esprit, apporter leurs connaissances dans leurs domaines de compétences ou leur point de vue en s'insérant dans un projet aux visées particulièrement larges.

J'associe également à ces remerciements les intervenants de la journée NBIC pour les TIC organisée le 25 avril 2007 par la FING et l'université Paris Descartes. Leurs présentations ont servi de point de départ pour plusieurs parties de Prospectic :

- Nidam Abdi, journaliste à Bakchich.info et éditeur du moteur de recherche www.e-musicpro.com
- Dominique Annet, directrice des éditions Marane, attachée à l'université de Namur
- Olivier Auber, artiste numérique, cofondateur d'Anoptique
- Simone Bateman, directrice de recherche au CNRS, Centre de recherche Sens, Ethique, Société (CERSES), UMR CNRS - université Paris Descartes
- Jean-Sébastien Bedo, responsable des objets de recherche régulation et futurologie, R&D, Orange Labs
- Dorothée Benoit Browaey, déléguée générale de Vivagora
- Jean-Claude Boudenot, senior expert à Thalès research & technologies, professeur à l'ISEP
- Patrick Brezillon, chercheur CNRS au département Décision, Systèmes Intelligents et Recherche Opérationnelle (DESIR) au laboratoire informatique de Paris VI (LIP6)
- Yves Burnod, directeur de l'unité de neurobiologie à l'Inserm Lyon
- Richard Collin, professeur invité à Grenoble École de Management, directeur de l'Institut de l'Entreprise 2.0
- Christian Dhugues, Planning stratégique, Laser Loyalty
- Jean-Marc Do Livramento, expert télécom à Bouygues Telecom
- David Dumoulin, sociologue à l'université Paris III, animateur de recherche-en-cours.org
- Marie-Line Eon, médecin nutritionniste à Nantes
- Elie Faroult, responsable scientifique dans l'unité de Recherches en sciences économiques, sociales et humaines - Prospective, de la Direction générale recherche de la Commission européenne
- Marc de Fouchecourt, professeur à l'ENSAM
- Jean-Marc Galan, chargé de recherche en biologie cellulaire au CNRS, animateur de recherche-en-cours.org
- Jean-Gabriel Ganascia, professeur à l'université Paris VI, responsable de l'équipe Agents Cognitifs et Apprentissage Symbolique Automatique (ACASA) au LIP6
- Thierry Gaudin, président de l'association Prospective 2100 (<http://2100.org>)
- Xavier Guchet, maître de conférences en philosophie à Paris I - Panthéon-Sorbonne
- Clarisse Herrenschildt, anthropologue et sémiologue, chargée de recherche CNRS
- Louis Hugues, architecte logiciel et intelligence artificielle à Ginko Networks
- Sophie Klein, Délégation générale à l'innovation & au développement durable, RATP
- Francine Krief, professeur à l'Enseirb, Bordeaux
- Hubert Lafont, Département des systèmes informatiques et télécom, RATP
- Matthieu Latapy, Chercheur CNRS, responsable de l'équipe

Complex Networks au LIP6 ● Louis Laurent, chef du Département STIC à l'Agence nationale de la recherche (ANR) ● Frédérique Legrand, responsable de l'unité de recherche et développement Innovation et Usages interpersonnels des Télécommunications de Orange Labs ● Yann Le Guennec, plasticien et designer numérique, cofondateur d'Anoptique ● Romain Levesque, étudiant en droit ● Philippe Mallein, directeur du laboratoire Usage Conception Utilisation (LUCE) ● Jean-Marc Manach, journaliste à *Internet Actu* ● Jacques-François Marchandise, directeur du développement de la FING ● Joseph Mariani, directeur de recherche au CNRS, directeur de l'Institut des technologies multilingues et multimédias de l'information (IMMI), membre du comité d'éthique du CNRS (Comets) ● Françoise Massit Folléa, enseignante chercheuse à l'École normale supérieure de lettres et sciences humaines et responsable scientifique du programme Vox Internet II ● David Menga, ingénieur chercheur à la Direction de la recherche et du développement d'EDF ● Michel Morange, biologiste moléculaire, historien des sciences, professeur à Paris VI et à l'ENS ● Nicolas Morizet, thésard à l'Institut supérieur d'électronique de Paris ● Sophie Pène, professeur à l'université Paris Descartes ● Jean-Yves Prax, président de Polia Consulting ● Michel Riguidel, responsable du département informatique et réseau à Telecom ParisTech ● Pascal Royer, directeur du laboratoire LNIO à l'université de technologies de Troyes ● Pierre Saulay, Laser, réseau Echangeur Paris Île-de-France ● Antoine Späth, Psychologue, psychothérapeute à Paris ● Fariza Tah, maître de conférence en informatique au laboratoire IBISC (Informatique, Biologie Intégrative et Systèmes Complexes) UEVE/ CNRS/ Genopole ● Gérald Thouand, professeur de microbiologie, université de Nantes ● Denis Van Riet, coanimateur du réseau international correspondants.org ● Catherine Vidal, directrice de recherche à l'Institut Pasteur ● Antony Cornaton, Valentin Pret et Marvin Sulfart, fans de *Harry Potter* ont relu et corrigé l'introduction.

Biographie et bibliographie de l'auteur

Jean-Michel Cornu est consultant international et directeur scientifique de la FING (Fondation internet nouvelle génération). Il est également un expert en matière de travail coopératif et d'intelligence collective.

Il a publié de nombreux articles et ouvrages, dont :
Internet, les technologies de demain, tome I, coll. Les cahiers de l'internet, FING, 2002 ; *Internet, services et usages de demain*, tome II, coll. Les cahiers de l'internet, FING, 2003 ; *La Coopération, nouvelles approches*, 2001, disponible en ligne.

Il a participé à des ouvrages collectifs, dont :
Intelligence collective, coordonné par Jean-Michel Penalva, Presses des Mines de Paris, 2006 ; *Petit précis d'efficacité collective*, tome 01, Travailler autrement, sous la direction de Richard Collin, 2006.
Internet : une utopie limitée, Nouvelles régulations, nouvelles solidarités, sous la direction de Serge Proulx, Françoise Massit-Folléa et Bernard Conein, Presses de l'Université Laval, 2005 ; *Prospective de l'Internet*, sous la direction de Marie-Anne Delahaut, Institut Destrée, Namur, 2005 ; *Gouvernance de l'Internet*, L'état de fait et l'état de droit, coordination scientifique Françoise Massit Folléa, Maison des sciences de l'homme, 2005.



Sommaire

Chapitre 1 - <i>Introduction</i> - Quel monde pour demain ?	11
À la recherche des reliques magiques	14
Des technologies pour inventer demain	17
Chapitre 2 - Comprendre les nanosciences et les nanotechnologies	19
Que sont les nanosciences et les nanotechnologies ?	21
Un peu d'histoire	22
Nanoélectronique et spintronique	26
De la microélectronique à la nanoélectronique	26
La spintronique	26
Nanostructures passives	27
La diversité des propriétés des nanomatériaux	30
Nanostructures actives	34
Une conjecture sur le futur des matériaux actifs : la matière programmable	35
Assemblage de nanosystèmes	36
Des microsystèmes et peut être des nanosystèmes...	36
...Et des systèmes de nanosystèmes	37
Nanosystèmes moléculaires et atomiques	40
Le passage à une logique bottom-up	41
Nanosystèmes autorépliquants	42
Stratégies pour les nanosciences et les nanotechnologies	46
Deux changements de paradigme	46
Chapitre 3 - <i>Première clé</i> - Interdisciplinarité et modes d'explication	53
Pourquoi est-il difficile de faire de la science pluridisciplinaire ?	55
Chapitre 4 - Comprendre la biologie et les biotechnologies	63
Le vivant, une nouvelle technologie très ancienne	65
Les biotechnologies : quand l'homme utilise les mécanismes du vivant	66
Peut-on appliquer les méthodes du vivant pour d'autres applications ?	68
Première méthode - La membrane plasmique : séparer pour créer	69
La cellule dans tous ses états	71
Les molécules, actrices de la cellule	73
Du métabolisme au metabolome	76
Le « dogme central » de la biologie moléculaire	76

Deuxième méthode – Les protéines : d'une information monodimensionnelle à un objet en trois dimensions	78
Comment construire en trois dimensions ?	78
Les protéines, usines du vivant	79
Des acides aminés aux protéines	80
La forme des protéines : 4 niveaux de structure	81
Quand les protéines perdent la forme	86
Réseaux de protéines et interactome	89
Troisième méthode - Les acides nucléiques : comment se répliquer soi-même ?	90
La composition des acides nucléiques	90
L'ADN, porteur de l'information	91
L'ARN, la molécule à tout faire	93
Le code génétique	95
Le génome	97
Quatrième méthode - « Sculpter » le vivant	99
L'expression des gènes	99
Les cellules souches	101
Biologie synthétique	103
Cinquième méthode – Articuler les différents niveaux d'échelle	106
La génétique des populations, une histoire d'allèle	107
Génétique des populations versus biologie moléculaire	108
La biologie des systèmes	110
La postgénomique : articuler les différentes approches	112
Stratégies pour les biotechnologies	116
Cinq méthodes originales utilisées par le vivant	116
Chapitre 5 - Deuxième clé - La complexité	123
La perte partielle de notre capacité à prévoir	126
Qu'est-ce qui influence les propriétés du système ?	128
L'influence des constituants, des règles d'interaction, de l'environnement et de leur propre histoire	134
Chapitre 6 - Comprendre l'informatique et les réseaux	137
Les technologies de base	144
Évolution : quand la capacité d'intégration franchit de nouveaux seuils	144
Ruptures : d'autres technologies pour continuer de développer l'abondance	147
Le traitement	151

Les communications	154
Réseaux locaux, réseaux personnels et réseaux d'objets	155
La boucle locale et les réseaux métropolitains (MAN) passent au sans fil	160
Les cœurs de réseaux : vers le tout Ethernet ?	167
Vers des réseaux de plus en plus variés : IPv6 ou le post-IP ?	168
Les mémoires	173
Les interfaces homme-machine-environnement	177
Des écrans imprimés à la chaîne	177
Interagir avec nos cinq sens et avec notre cerveau	182
Réalité virtuelle, réalité augmentée et téléprésence	182
Des robots et des objets intelligents et communicants	185
Une société d'hommes et de robots	185
Les objets deviennent intelligents et communicants	191
Le logiciel	197
À chaque domaine son mode de développement	197
Au-delà du web	199
Stratégies pour l'informatique et les réseaux	202
Trois nouveaux paradigmes	202
Chapitre 7 - Troisième clé - L'énergie	209
La voracité énergétique	211
Innover pour économiser l'énergie ou la produire	211
De l'énergie locale pour des équipements autonomes	214
Chapitre 8 - Comprendre les neurosciences et les sciences cognitives	217
Observer ou simuler pour comprendre l'homme et son cerveau ?	219
Le développement des neurosciences	220
De l'observation à la simulation	221
Le développement des sciences de la complexité	221
Le développement des sciences cognitives	223
Les neurosciences	225
Pourquoi les neurosciences ?	225
Comprendre le cerveau	226
Créer des liaisons et même des neurones...	227
...Et détruire des connexions pour apprendre	229
La plasticité du cerveau	231
L'imagerie fonctionnelle cérébrale	234
Les neurosciences cognitives	236
Les neurosciences computationnelles	237
La neuroéconomie	238

Cognition, sciences cognitives et cognitivisme	240
Quelques définitions	240
La connaissance humaine : du knowledge management aux processus d'innovation	244
La connaissance des machines : comprendre les hommes ?	248
Les fonctions cognitives	251
De la cognition augmentée au transhumanisme	262
Le cognitivisme	266
Stratégies pour les neurosciences et les sciences cognitives	268
Trois changements de paradigme	268
Chapitre 9 - Quatrième clé - Modes de pensée et conflits d'intérêts	275
Peut-on sortir du rapport de force ?	277
Le langage, source d'intelligence et de conflits	280
L'écriture et le regard comme support à d'autres formes de pensées	283
Pensée-2 et conflits d'intérêts	287
La cartographie mentale	288
Une nouvelle pensée ?	291
Chapitre 10 - Croisements : convergence et éthique	295
Y a-t-il une convergence des sciences ?	297
L'approche américaine	297
D'autres approches de la convergence des sciences	299
Des technologies convergentes... vers quoi ?	303
Le rapprochement des questions éthiques	307
<i>Conclusion</i> - Le matin des cartographes	315
Notes	321
Index	333

Le programme ProspectTIC de la Fing :

➔ **+ d'infos sur le site : www.fing.org/prospectTIC**

Introduction

**Quel monde
pour demain ?**

*« Quant à l'avenir,
il ne s'agit pas de le prévoir
mais de le rendre possible. »*
Antoine de Saint-Exupéry

Comment sera le monde dans cinq à dix ans, comment les technologies transformeront-elles alors notre quotidien ?

Répondre à cette question sur notre destin est du domaine de la divination. Imaginer l'avenir pourrait relever de la science-fiction. Nombreuses sont les affirmations d'hier qui nous font sourire aujourd'hui : des voitures volantes prévues pour l'an 2000 à l'ordinateur central gigantesque qui dialogue avec nous, lit sur les lèvres, et... tue les astronautes de *2001 : l'Odyssée de l'espace*.

Nous pouvons considérer au contraire que le futur n'est pas entièrement déterminé et que plusieurs possibles existent. Nous entrons alors dans **le domaine de la prospective** : notre devenir est le fruit de notre histoire, de découvertes parfois inattendues et de nos choix. Mais pour que notre capacité à orienter notre société puisse s'exercer au moins en partie, il nous est nécessaire de connaître les différents choix possibles. C'est le but de cet ouvrage qui présente, dans un langage accessible, les fondements des diverses nouvelles technologies, mais également les découvertes les plus récentes qui peuvent avoir un impact sur notre vie de demain.

Il ne s'agit pas de réduire l'avenir à l'un de ces possibles qui nous semblerait meilleur ou inéluctable mais plutôt **d'ouvrir les possibles** et de donner au plus grand nombre d'entre nous une capacité d'interrogation pour faciliter les échanges et les débats entre les différents acteurs de la société. Nous chercherons donc à faire ressortir les changements de paradigmes actuels ou attendus, les applications d'ores et déjà imaginées et les débats en cours.

Pour choisir, il nous faut donc connaître au mieux les différents possibles qui s'offrent à nous. Mais sont-ils si nombreux que cela ? Pour répondre à cette question, nous allons faire un petit détour par un univers imaginaire. Il ne s'agit pas d'une histoire inventée par un auteur de science-fiction qui nous présenterait un futur potentiel, mais d'un monde autre, où une partie de l'humanité détiendrait certains pouvoirs incompréhensibles au commun des mortels.

Plongeons-nous un instant dans l'univers d'*Harry Potter*. Dans le septième et dernier épisode de la série, le jeune sorcier part à la recherche de trois objets magiques d'une grande puissance, les « reliques de la mort ». Aurons-nous autant de succès que lui pour retrouver ces objets dans notre propre monde ?

À la recherche des reliques magiques

Pour commencer, nous devons trouver une baguette magique puissante. Pour cela, nous prenons la direction des Pays-Bas. Les laboratoires de Philips proposent l'uWand : « u » pour *ubiquitous* (omniprésent) et « wand » pour baguette. Il s'agit d'une télécommande universelle avec laquelle on contrôle les objets en la pointant vers eux et en effectuant des gestes plus intuitifs qu'en appuyant sur les nombreuses touches des télécommandes. Faites un geste vers le haut en direction de la chaîne hi-fi et le son monte ; un coup vers la droite et vous passez au morceau suivant ; abaissez votre baguette pointée vers la lampe et la lumière se tamise... Pour en faire une « baguette magique » parfaite, il ne manque que la parole, ou plus précisément les formules magiques qui multiplieront encore ses possibilités. La reconnaissance vocale a fait des progrès et nous pouvons imaginer l'intégrer à ce type d'interface. Mais si nous souhaitons reconnaître les phrases de plusieurs personnes (la reconnaissance vocale multilocuteurs), alors nous devons nous restreindre à un nombre limité de phrases – comme c'est le cas pour les services vocaux téléphoniques. Un nombre limité de phrases... Nous pourrions alors parler de « formules ». L'utilisation du latin pourrait même aider à éviter l'ambiguïté entre ce qui s'adresse à la baguette et ce qui s'adresse à notre entourage. Alors préparez-vous à prononcer « *Lumos maxima* » pour y voir un peu plus clair...

La deuxième relique que nous allons chercher est la pierre de résurrection qui permet de voir et de communiquer avec les morts. Notre recherche nous mène au milieu des montagnes suisses en 2005. Une douzaine d'agents Etoy, un collectif artistique européen, se réunissent pour imaginer des concepts numériques autour de la mort. Ils proposent l'*arcantum* capsule (la capsule du mystère) qui a donné naissance au projet Mission Eternity pour conserver des traces d'une personne disparue. « Ce n'est pas un cimetière de données mais un portrait interactif de la personne disparue, précisent les auteurs. [...] On peut, par exemple, imaginer qu'un programme l'active dans le futur, que la capsule contacte ses amis à une certaine date, ou qu'un proche va trouver des fleurs sur le pas de la porte avec une carte de quelqu'un décédé des années auparavant. » Ajoutons-y une pincée d'autres technologies, telles que les têtes parlantes, incluses dans la norme vidéo MPEG-4 (qui donnent la parole à un visage virtuel en trois dimensions sur lequel est plaquée une photo), et encore les *chatterbots*, des agents conversationnels capables de simuler un échange avec l'homme. La conservation du patrimoine génétique permettra-t-elle d'aller encore plus loin ? Le projet Bioprésence propose d'encoder des informations génétiques d'une personne dans celles d'un arbre sans changer ses gènes⁽¹⁾. Si les technologies numériques et biotechnologiques venaient à se croiser avec un soupçon de sciences cognitives et peut-être même de nanotechnologies, nous pourrions avoir une pierre de résurrection tout à fait acceptable...

La dernière relique à trouver est une cape d'invisibilité. Si Harry Potter n'eut pas à la chercher trop loin – car elle lui fut léguée par son propre père – nous devons pour notre part aller au Japon, plus précisément à l'université de Tokyo dans le laboratoire du professeur Susumu Tachi. La cape en question permet, avec une caméra, de filmer ce qui est derrière vous pour le projeter sur le vêtement. Cette astuce donne une illusion d'invisibilité ou plutôt de transparence.

(1) Cela est possible du fait que le code génétique comprend de nombreuses redondances : un triplet de nucléotides sur l'ADN (64 combinaisons possibles) permettra de produire un des vingt acides aminés qui servent de constituants aux protéines. Il est donc possible de réaliser des mutations silencieuses : le même gène – codant pour la même protéine – pourra, suivant les nucléotides sélectionnés parmi les séquences équivalentes, contenir une information supplémentaire qui pourra être celle du génome d'une personne donnée. L'arbre fera survivre pendant des années encore l'ADN d'un disparu. Pour plus d'information, voir chapitre 4.

Mais dans *Harry Potter*, les reliques de la mort ne sont pas de simples objets magiques limités, elles doivent pouvoir tromper la mort elle-même ! Cherchons plus loin encore et rendons-nous à l'université de Duke. Les scientifiques y ont réussi à rendre « invisible » un cylindre de cuivre en courbant autour de lui les ondes électromagnétiques, le faisant ainsi disparaître : les rayons lumineux, venant de derrière ce cylindre construit en métamatériaux⁽¹⁾, le contournent, comme l'eau d'une rivière contourne un rocher, donnant l'illusion de l'avoir traversé. Mais cette invisibilité est encore limitée à une seule longueur d'onde et, qui plus est, dans le spectre des micro-ondes. Pour atteindre l'invisibilité, il faudrait étendre son utilisation à l'ensemble des longueurs d'ondes de la lumière visible par nos yeux, bien plus petites que celles des micro-ondes. Cela nécessiterait de construire le matériau à l'échelle nanométrique (moins de 400 nanomètres, soit 0,4 milliardième de mètre). Repartons pour la Russie cette fois, chez un spécialiste des nanoparticules d'or. Oleg Gadomsky est professeur d'électronique quantique et d'optoélectronique à l'université d'État d'Oulianovsk, à 700 km au sud-est de Moscou. Il a déposé un brevet pour une méthode rendant les objets invisibles. Il lui faut encore en montrer pratiquement la faisabilité mais une chose est sûre, l'invisibilité est à portée de main, même si elle n'est pas facile à voir...

(1) Un métamatériau est un ensemble de matériaux composites constitués artificiellement qui présentent des propriétés électromagnétiques inhabituelles.

Des technologies pour inventer demain

Si nous avons pu trouver dans les laboratoires autour de la planète des objets ayant des fonctionnalités similaires à celles imaginées par Joanne Kathleen Rowling pour l'intrigue du dernier tome de *Harry Potter*, alors nous devrions pouvoir y découvrir une grande part de ce que l'homme a pu imaginer dans ses rêves les plus fous. Il existe des limites bien sûr, et les objets basés sur l'énergie (le balai volant par exemple) semblent moins à notre portée que ceux qui manipulent l'information. Nous allons dans les chapitres suivants apporter quelques éléments pour comprendre les principales nouvelles technologies en y incluant les recherches les plus récentes. L'objectif n'est pas de devenir un expert dans tous ces domaines, mais plutôt d'acquérir, comme nous l'avons vu, une capacité d'interrogation pour participer au débat sur le monde que nous souhaitons construire. Nous découvrirons successivement les nanotechnologies, les biotechnologies, les technologies de l'information et de la communication, ainsi que les sciences cognitives. À la fin de chaque chapitre consacré à chacun de ces thèmes, nous chercherons à extraire quelques questions de portée plus générale, telles que l'interdisciplinarité ou les conflits d'intérêts. Nous terminerons en cherchant à croiser ces différents domaines pour nous interroger sur ce qui converge ou non, et sur les questions d'éthique posées par ces nouvelles opportunités.

Après avoir parcouru le monde à la recherche des objets issus des livres de sorciers, nous allons maintenant le sillonner pour y découvrir ce qui demain pourrait faire partie de notre quotidien.

