
Notes de lecture

Rubrique préparée par Denis Maurel

Université de Tours, LIFAT (Laboratoire d'informatique fondamentale et appliquée)

Marcel CORI. Le traitement automatique des langues en question. Éditions Cassini. 2021. 248 pages. ISBN : 978-2-84225-255-7.

Lu par **Thierry POIBEAU**

Laboratoire LATTICE

Le livre de Marcel Cori présente à la fois un panorama du traitement automatique des langues et une réflexion sur le domaine. Marcel Cori a longtemps été en poste à l'Université Denis Diderot, puis à Nanterre. Il a contribué à former de nombreux étudiants et l'auteur de ces lignes se souvient encore de ses cours d'algorithmique, à la fois bienveillants et exigeants, qui assuraient une base solide pour poursuivre dans le domaine.

L'ouvrage se compose de sept chapitres principaux. Le premier chapitre essaie de définir ce qu'est le Tal. Il est suivi de deux chapitres qui se font écho, sur le Tal théorique (chapitre 2) d'une part, et sur le Tal robuste (chapitre 3) de l'autre. Schématiquement, pour l'auteur, le Tal théorique s'appuie sur des théories linguistiques et s'oppose ainsi au Tal robuste fondé sur des approches statistiques, sans base linguistique explicite. Le chapitre se termine par une réflexion sur la notion de compréhension : les systèmes robustes reposent sur des stratégies d'optimisation statistique. Ils peuvent faire illusion, mais n'incluent pas de réels mécanismes de compréhension, au sens où ils n'ont pas une représentation formelle et non ambiguë du sens.

Le chapitre suivant (chapitre 4) présente un rapide historique. L'auteur montre que le domaine a toujours été tiraillé entre, d'une part, le besoin de montrer des outils et des applications pratiques justifiant la recherche aux yeux des financeurs et du grand public et, d'autre part, la nécessité de s'appuyer sur une assise théorique ferme, moins immédiatement valorisable, mais permettant les avancées pratiques à moyen et long terme. Pour l'auteur, ces deux tendances se sont matérialisées à travers deux courants : la linguistique formelle *versus* la linguistique de corpus, qui sont détaillées dans les chapitres suivants.

Le chapitre 5 aborde ainsi les liens entre Tal et linguistique formelle. L'auteur défend vivement ces liens : la formalisation est pour Marcel Cori l'assurance d'une approche réellement scientifique. L'auteur le souligne en trois mots : « réfutabilité, prédictivité, objectivité », chacun de ces termes étant ensuite justifié. Il va de soi que cette description s'oppose au Tal dit robuste, qui offre des techniques applicables à

une grande variété de problèmes, avec des performances solides, mais sans formalisation *a priori*.

Le chapitre 6 examine certains des grands formalismes syntaxiques passés, des ATN jusqu'à HPSG. Le chapitre se termine sur la notion de théorie linguistique : qu'est-ce qu'une théorie, qu'est-ce qu'un modèle, dans quelle mesure un formalisme doit-il être contraint ? Il est dommage que l'auteur n'aborde pas certaines questions, qui sourdent pourtant dans la tête du lecteur à l'issue du chapitre : dans quelle mesure peut-on parler d'objectivité d'un modèle, s'il y a autant de formalisations possibles d'un même phénomène ? L'auteur ne s'interroge pas vraiment sur la prolifération des modèles, sur la raison de cet état de fait et sur la compatibilité des formalisations entre elles. Peut-être plus important encore : ces formalisations semblent très éloignées des approches du Tal robuste. Une bonne formalisation ne devrait-elle pas être robuste ? Pourquoi cet écart entre Tal théorique et Tal robuste ? Il y a certainement dans d'autres domaines aussi des écarts entre théorie et pratique, mais peut-être pas autant qu'entre linguistique et Tal.

Le chapitre 7 revient de manière critique sur la linguistique de corpus. L'auteur souligne l'intérêt des corpus pour partir de données observables, affiner les jugements d'acceptabilité, etc. mais note que l'absence d'une forme en corpus « n'est en rien une preuve d'impossibilité ». On ne peut qu'être d'accord avec cela et la plupart des linguistes de corpus (si tant est qu'une telle catégorie existe) seraient d'accord avec cette observation. Les données de corpus sont à utiliser avec précaution, et permettent surtout l'observation et le comptage (la prévalence d'un sens, d'une expression). Les linguistes de corpus ne sont pas tellement intéressés par les impossibilités en langue (et plus généralement par des jugements binaires, qui restent peut-être plus prégnants en linguistique formelle, surtout dans les approches syntaxiques), mais davantage par la diversité de la production effective des locuteurs étudiés.

Le livre se termine évidemment avec une conclusion. L'auteur y souligne les limites de la théorie et surtout les mystères de la langue, qui résistent à la formalisation et qui obligent à rester modeste. Enfin, Marcel Cori souligne le plaisir à travailler dans un domaine si riche et aussi si humain (le langage étant, en un sens, le propre de l'homme, tout autant que le rire).

Pour élargir la discussion, on peut dire que l'ouvrage de Marcel Cori pose des questions intéressantes sur la place de la linguistique dans les approches automatisées depuis 50 ans.

Avant de discuter de cela, il faut souligner certains points qui constituent, à nos yeux, les limites de cet ouvrage, sans remettre en cause l'intérêt des questions soulevées. Le premier point est cette opposition entre linguistique formelle et linguistique de corpus. La linguistique de corpus a certes vécu de beaux jours dans les années 1990 en France (marqués par exemple par la parution du livre *Les linguistiques de corpus*, par A. Salem, B. Habert et A. Nazarenko en 1998), à un moment où des données massives commençaient à devenir disponibles et permettaient, entre autres choses, des jugements plus nuancés que les jugements binaires souvent pratiqués en linguistique jusque-là. Mais il semble que l'intérêt pour la linguistique de corpus soit largement retombé depuis (même si les corpus restent essentiels dans certains

domaines, comme en énonciation, en acquisition du langage, etc.). Surtout, le Tal ne se réclame plus depuis longtemps de la linguistique de corpus. Ou, plus exactement, la quasi-totalité du Tal est aujourd'hui passé à des approches par apprentissage sur d'énormes quantités de textes, que l'on peut appeler corpus, mais cela n'a plus grand chose à voir avec la linguistique de corpus telle que la pratiquent les linguistes de cette obédience. Les Talistes ont changé de chapelle depuis longtemps.

La deuxième limite de l'ouvrage est liée à la précédente : le paysage est bouleversé depuis une dizaine d'années maintenant par les approches neuronales, et depuis 2018 par les grands modèles de langage (avec l'apparition de BERT). Cette évolution peut être vue comme la simple suite de ce qui précède (c'est-à-dire comme le dernier avatar du Tal robuste), mais il semble quand même que l'ampleur des évolutions ces dernières années change un peu la donne. Ou peut-être pas, cependant il est un peu frustrant que ces développements récents et moins récents ne soient pas évoqués dans le livre de M. Cori. Il est vrai que l'ouvrage est paru fin 2020, il y a déjà plus de deux ans et que ce compte-rendu est de ce point de vue un peu tardif.

Mais, malgré cela, les réflexions de Marcel Cori restent d'actualité. La question de la formalisation reste en effet primordiale : on a tous été frappé par les performances des générateurs de textes (famille de modèles GPT, plus récemment ChatGPT, etc.). Ces modèles peuvent produire des paragraphes cohérents, répondre à des questions, mais ils ont aussi été qualifiés de « perroquets stochastiques » par E. Bender et ses collègues, dans la mesure où ils produisent du texte sur une base statistique, sans modèle du monde (c'est-à-dire, en particulier, sans notion de vérité) sinon celui offert par la redondance des informations sur Internet (en gros, « plus un fait est répété, plus il a de chances d'être vrai », ce qui n'est pas tout à fait satisfaisant, on en conviendra). Le couplage de ces modèles avec des bases de connaissances vérifiées humainement pourrait toutefois intervenir prochainement et changer partiellement la donne.

Une autre question intéressante, mais peu abordée dans l'ouvrage de Marcel Cori, est celle de la nature des informations à formaliser. Marcel Cori semble défendre une approche très syntaxique, alors que le succès des approches récentes est en grande partie lié aux techniques d'analyse distributionnelle à large échelle, permettant de dresser des profils sémantiques des unités lexicales (les fameux *word embeddings*). Or, sauf exception, la description du sens lexical n'a jamais été au centre des approches formelles. C'est d'ailleurs là, à notre avis, la raison principale de l'échec relatif de ces approches formelles : elles ont permis de mettre en avant les règles de grammaire et les autres règles, mais ce qui est formalisé dans la langue ne constitue qu'une infime fraction des connaissances nécessaires. Le sens est contextuel et aucune théorie n'a jamais fourni de représentation adéquate du contexte, qui reste une notion subjective et malléable. À l'inverse, les approches automatiques en fournissent une représentation très fine, calculée à partir de milliards d'exemples et encodée dans les milliards de paramètres des réseaux de neurones actuels, donnent autant d'infimes précisions sur le comportement des mots (puis des unités supérieures) en contexte. C'est cette finesse qui permet une relative précision, par exemple dans les applications de traduction automatique, malgré la diversité des traductions possibles en fonction de l'infinie diversité des contextes possibles.

En conclusion, on peut dire que le livre de Marcel Cori présente une réflexion solide et intéressante sur les rapports entre Tal et linguistique (et, plus particulièrement, linguistique formelle). Si les développements les plus récents du Tal ne sont pas évoqués dans l'ouvrage, le panorama historique qu'il offre reste tout à fait valable et, surtout, l'ouvrage ouvre des pistes de réflexion précieuses et tout à fait actuelles.

Mathilde JANIER, Patrick SAINT-DIZIER. Argument Mining : Linguistic foundations. ISTE Editions. 2019. 177 pages. ISBN : 978-1-786-30303-5.

Lu par Léa GUIZOL

ICT - Consultants, Bruxelles

Cet ouvrage introduit les bases du domaine, en commençant par l'argumentation tout court. Il présente les défis actuels à relever et finit sur un cas pratique. Il sera particulièrement utile à un novice ayant envie de découvrir la fouille d'arguments et l'argumentation. L'ouvrage est divisé en deux grandes parties. La première définit le domaine de l'argumentation en général, ainsi que dans le contexte de son analyse et de sa fouille. La seconde est plus technique et présente un cas concret.

Première partie

L'ouvrage commence par une bonne introduction à l'argumentation en général. Qu'est-ce ? À quoi cela sert ? Dans quels contextes ? Il y a un peu d'histoire de l'argumentation, qui remonte à nos racines grecques, de la philosophie et des définitions. Tout le vocabulaire est soigneusement défini.

Comment se construit une argumentation ? Comment tester la solidité d'un argument ? On y décrit les discours vus, d'une part, comme des graphes (les arguments et hypothèses sont des nœuds, reliés par des arêtes représentant les liens de défense et d'attaque entre eux) ; et, d'autre part, les discours sont analysés à travers le prisme de schémas d'argumentation (schémas se basant sur l'analogie, la causalité, les opinions communément admises...). Pour chaque schéma, des questions testant la validité du discours sont présentées.

Le chapitre 3 introduit les notions de base de la rhétorique, qui utilise à la fois des arguments et des éléments non verbaux pour convaincre une audience. On a le *logos* (logique du discours), l'*ethos* (crédibilité, position de l'orateur...) et le *pathos* (émotions induites chez l'auditoire). Les auteurs entrent plus profondément dans la structure du discours et des arguments, donc dans le *logos*. Ils s'intéressent aussi au vocabulaire indiquant la présence et l'intensité des arguments. Ils soulignent que les arguments ne sont pas toujours explicitement reliés entre eux.

Les défis et les besoins de la fouille d'arguments sont abordés. Un argument peut à la fois défendre et attaquer une hypothèse (*être dans un quartier animé apporte des sources de distraction... et du bruit*), ce qui nécessite :

- des préférences pour comparer l'attaque et le soutien à ladite hypothèse ;

- un besoin de culture et de connaissances générales sur le monde (représentation des connaissances) ;
- et de faire les liens entre les concepts pour comprendre les relations entre hypothèse et arguments qui s’y rapportent.

La fouille d’arguments pourrait permettre de faire des synthèses automatiques des textes d’opinion qui contiennent beaucoup d’arguments qui se recourent et qui sont peu digestes.

Transition

Le chapitre 5 fait la transition entre l’argumentation (science du discours) et la fouille d’arguments (traitement automatique de la langue). Que peut-on attendre de la fouille d’arguments ? Il y a une introduction à la méthodologie générale de la fouille d’arguments.

Les auteurs insistent sur certaines de ses limites actuelles :

- l’importance de l’annotation et du temps humain qu’elle requiert ;
- l’ambiguïté du langage naturel et ses difficultés, même pour des experts humains ;
- les discours passés à l’écrit perdent la forme, l’intonation, les silences et le non-verbal (*pathos*), qui ne sont donc pas pris en compte et qui sont pourtant très importants.

Seconde partie

Comment fait-on des annotations pour analyser l’argumentation ? Cette étape est nécessaire et très consommatrice de temps humain. Le pourquoi et les bonnes pratiques sont expliqués. Les auteurs soulignent un paradoxe : il se peut que des arguments, même très importants, soient complètement implicites. Il y a de la recherche sur ce sujet. Les personnes qui veulent s’y lancer trouveront des références d’outils d’annotation.

Quels sont les domaines d’application et les usages de la fouille d’arguments ? Les principes de fonctionnement des systèmes de fouille d’arguments sont décrits et divisés en deux grandes familles. Les auteurs soulignent une forte intersection avec le TAL et l’apprentissage automatique et font un état de l’art comprenant des exemples de travaux et des pointeurs vers des conférences pertinentes sur le sujet.

Le chapitre 8 présente une approche concrète.

Le chapitre 9 donne des ouvertures et des perspectives sur les aspects non verbaux de l’argumentation, qui peuvent retourner le sens perçu d’un argument : images, émoticônes, aspects visuels ou sonores, et musique.

Conclusion

J’ai beaucoup apprécié le retour aux sources de l’argumentation et les définitions du domaine, ce qui est également intéressant pour les personnes s’intéressant seulement à la philosophie ou à l’art du discours. Cependant, un lexique reprenant les nombreuses définitions de l’ouvrage aurait été pratique.

Ce livre introduit au domaine de la fouille d'arguments pour toutes les personnes intéressées. Il est très clair, et les différentes notions sont introduites de façon progressive. Tout au long de l'ouvrage, on voit apparaître également les limites et les défis de la fouille d'arguments, ainsi que les liens avec d'autres disciplines de Tal et d'IA, ce qui permet d'avoir une vision large.

Masato HAGIWARA. Real-World Natural Language Processing. Practical applications with deep learning. Manning Publications. 2021. 336 pages. ISBN : 978-1-617-29642-0.

Lu par **Yannis HARALAMBOUS**

IMT Atlantique, UMR CNRS 6285 Lab-STICC

L'avènement¹ de ChatGPT ne fait que confirmer que nous vivons dans l'ère du deep learning, une ère où les « miracles » sont quotidiens et où les étudiants néophytes sont persuadés qu'il suffit de choisir le bon BERT pour résoudre n'importe quel problème qui peut se poser en traitement automatique de la langue. Le deep learning a accaparé le monde du Tal au point qu'il a aujourd'hui – comme le titre de cet ouvrage l'indique – acquis le statut de real-world, de seule réalité dure comme fer.

Introduction

L'apprentissage du *deep learning* comporte certains écueils structureaux. Tout d'abord, il y a trois manières de décrire les architectures de réseaux de neurones profonds :

(a) par des formules mathématiques, mais la théorie mathématique sous-jacente est assez complexe, ou du moins nécessite des formalismes d'apparence très complexe pour être expliquée ;

(b) par des diagrammes illustratifs qui montrent bien les flux d'information, mais ils deviennent vite très complexes, eux aussi, surtout qu'ils sont, le plus souvent, statiques alors que le « miracle » des neurones se produit lorsque les informations circulent, de haut en bas, de droite à gauche, constamment renouvelées, se rapprochant inexorablement de la valeur souhaitée ;

(c) par le code, souvent en Python, qui peut être assez complexe mais qui a l'immense avantage qu'on peut le « décortiquer », exécuter les lignes de code une par une en visualisant les entrées et les sorties.

Des ouvrages suivent la première approche : par des théorèmes et des démonstrations, on acquiert le calcul aux dérivées partielles, la théorie de la mesure, les équations différentielles et tout le bagage mathématique nécessaire pour comprendre le *deep learning*. Sans la moindre application. D'autres tombent dans l'autre extrême et sont remplis d'illustrations et de code, sans la moindre formule (à croire que leurs lecteurs ont loupé tous les cours de maths du collège...). Mais ils

¹ Nous avons volontairement choisi un terme à connotation religieuse.

fourmillent d'applications. Et, en parlant d'applications, on est passé au stade où les lecteurs découvrent le Tal en même temps que le *deep learning*. Cela permet de motiver l'apprentissage de l'un par celui de l'autre, et pour ceux qui possèdent des connaissances dans l'un des deux domaines, de se sentir en terrain connu pour mieux apprivoiser l'autre côté. L'ouvrage de Hagiwara est de ce type : il suppose, au départ, que le lecteur ne connaît ni le Tal, ni les réseaux de neurones profonds, et il le guide dans les deux directions.

Première partie de l'ouvrage

Le premier chapitre est une introduction au Tal. Il pose la question habituelle « Qu'est-ce que le Tal ? » mais aussi la question bien plus surprenante « Qu'est-ce qui n'est pas Tal ? ». On s'attend à une discussion sur les limites du Tal (multimodalité, langage intérieur, etc.) mais il n'en est rien. En réalité, il ne s'agit pas de contenu mais de méthode : le message que l'auteur veut faire passer est qu'on ne peut traiter des données linguistiques par un simple arbre de décision.

Après la description de quelques tâches de base (analyses morphologique et syntaxique, génération de texte) et de l'architecture-type d'une application de Tal, l'auteur passe, au deuxième chapitre, à la description détaillée et accompagnée du code Python d'une première application : une fouille de sentiments basée sur le corpus *Stanford Sentiment Treebank*. Il s'agit d'un corpus d'arbres syntaxiques à constituants, avec des annotations (entre 0 et 4) tant au niveau des mots, que des syntagmes et des phrases (même les signes de ponctuation ont été annotés !). L'exemple est bien choisi parce que le but recherché est facile à comprendre, les données sont disponibles en accès libre, et le principe de cette annotation est assez inhabituel pour alimenter des discussions (est-ce que cela a un sens d'annoter positivement/négativement tous les mots, y compris les mots grammaticaux ? Et pourquoi utiliser une seule dimension, alors que *SentiNet* en utilise deux ?). L'auteur en profite pour introduire les notions de plongement lexical et de réseau neuronal profond.

La bibliothèque de *deep learning* choisie par l'auteur pour tous les exemples de l'ouvrage est AllenNLP. Ce choix s'avère pertinent parce que AllenNLP est un bon compromis entre facilité d'utilisation et performance.

Les chapitres 3, 4 et 5 constituent une progression dans la complexité des réseaux neuronaux utilisés et des tâches envisagées. Dans le chapitre 3, l'auteur explique les deux types classiques de plongement lexical (CBOW et *skip-gram*), ainsi que l'approche *fastText* qui considère une fenêtre glissante sur les caractères des mots. En guise d'illustration, l'auteur prend un corpus de phrases anglaises (du très intéressant projet Tatoeba, une base de données multilingue de phrases) et cherche les phrases les plus proches d'une phrase donnée.

Dans le chapitre 4, on passe des réseaux qui opèrent sur les sacs de mots, à des réseaux qui gèrent des phrases. Le problème de la disparition du gradient est évoqué et les réseaux de type LSTM sont introduits. L'exemple choisi est celui de la détection de langue, en utilisant de nouveau Tatoeba comme corpus. Ce dernier a l'avantage de proposer un ensemble assez homogène de phrases dans un grand nombre de langues,

ce sont donc des conditions optimales pour que la détection de langue se passe comme une lettre à la poste.

Le chapitre 5 va plus loin en s'intéressant à l'annotation des mots d'une phrase, à travers les réseaux de type Seq2Seq, multicouches et bidirectionnels. Comme applications, l'auteur mentionne l'identification des parties du discours ainsi que la recherche d'entités nommées et de leurs types. Et c'est cette dernière qu'il illustre par un exemple. Le corpus utilisé provient de Kaggle. Mais le chapitre ne s'arrête pas là : l'auteur évoque le problème de la génération de texte et propose une solution à travers un modèle probabiliste de langue. Bien sûr, avec les moyens du bord et les faibles ressources utilisées, le résultat ressemble plutôt à un cadavre exquis qu'à du texte cohérent – ce que l'auteur ne manque pas de souligner.

La première partie de l'ouvrage est très pédagogique : on se pose des problèmes de plus en plus difficiles et on explique l'évolution des réseaux neuronaux pour faire face à cette difficulté croissante.

Deuxième et troisième partie de l'ouvrage

Les chapitres de la deuxième partie présentent des problématiques plus avancées et sont un peu plus décorrelés les uns des autres.

Le chapitre 6 présente les systèmes encodeur-décodeur, où l'information provenant d'une phrase est d'abord recueillie et traitée jusqu'à être condensée en un seul vecteur de nombres, et c'est ce vecteur qui est ensuite utilisé pour produire une autre phrase, par exemple une traduction de la première. L'auteur construit un traducteur élémentaire en prenant soin de bien souligner, à chaque étape, les faiblesses de l'approche. Le corpus utilisé est, encore une fois, Tatoeba. L'auteur profite des très faibles performances de ce traducteur simpliste pour parler des problèmes de traduction et de l'évaluation des systèmes de traduction. Il conclut le chapitre par une autre application des réseaux encodeur-décodeur : un système question-réponse, basé sur un corpus de dialogues.

Le chapitre 7 présente un type de réseau de neurones qui est principalement connu pour ses performances en reconnaissance de formes : les réseaux convolutifs. Ce type de réseaux fonctionne en appliquant une fenêtre glissante sur les données, en extrayant de chaque position de la fenêtre une nouvelle valeur. On obtient ainsi des couches successives de plus en plus petites, mais avec de l'information de plus en plus synthétique. On peut se demander à quel type de problème Tal correspond ce type de réseau de neurones. L'exemple que donne l'auteur est celui de la classification de textes et on conçoit bien que, comme une image, un texte peut être analysé sur plusieurs niveaux, ce qui fait que cette approche est pertinente.

Les chapitres 8 et 9 présentent la grosse artillerie des réseaux de neurones appliqués au Tal : le mécanisme d'attention, les transformeurs et l'apprentissage par transfert. Le mécanisme d'attention est très bien expliqué. Grâce aux illustrations très soignées, on comprend aisément l'utilité de chaque partie du mécanisme : pour chaque mot de la phrase du décodeur, on va apprendre au modèle à focaliser son attention sur tel ou tel mot de la phrase de l'encodeur. Quand on applique l'attention à une seule et même séquence de mots, on parle d'auto-attention (*self-attention*). Et comme on

n'arrête pas le progrès, on passe d'un à plusieurs niveaux d'auto-attention -et on obtient ainsi un transformeur. Les exemples donnés par l'auteur pour illustrer les transformeurs sont : un nouveau système de traduction anglais-espagnol, avec des performances bien meilleures, et un correcteur orthographique, entraîné sur un corpus produit par l'auteur. Dans la dernière section du chapitre 8, l'auteur laisse libre cours à son imagination et présente des idées de plus en plus exubérantes, idées qu'il met immédiatement en œuvre. Pour n'en citer qu'une, il utilise le réseau Seq2Seq de traduction pour « corrompre » un corpus de textes grammaticalement corrects, afin de se servir ensuite du résultat comme corpus d'entraînement pour son correcteur orthographique...

Dans le chapitre 9, il présente BERT (et ses camarades, ELMo, XLNet, RoBERTa, DistilBERT, ALBERT) et l'apprentissage par transfert. Les exemples donnés sont : la fouille de sentiments et la détection de relations rhétoriques entre phases (qu'il appelle « inférences »).

La troisième partie, de loin la plus courte, est une collection d'informations plus ou moins pratiques sur les réseaux de neurones et de conseils sur la mise en œuvre et l'optimisation de systèmes de Tal.

Conclusion

Si on n'a pas besoin des aspects mathématiques des réseaux de neurones, ce livre est une très bonne solution pour comprendre les tenants et les aboutissants des différents types de réseaux de neurones et de leurs applications au Tal. Les figures sont extrêmement soignées, et cela contribue à la bonne compréhension des notions complexes. Et le texte de Hagiwara est très agréable à lire, il est informel, mais ne manque pas de rigueur.

L'ouvrage est donc très adapté à l'auto-apprentissage des applications des réseaux de neurones au Tal mais aussi à l'enseignement. Attention toutefois, pour les avoir testés, les exemples donnés sont corrects, mais leur temps d'exécution dépend fortement du matériel utilisé. Un des derniers exercices a demandé plus d'une journée de calcul sur un Mac d'avant-dernière génération (processeur Intel), difficile donc de le proposer en TP. Mais, en fin de compte, ce problème est inhérent aux réseaux de neurones profonds : il faut trouver un compromis entre les petits corpus, qui donnent des temps d'exécution raisonnables, mais de très mauvais résultats, et les gros corpus, qui ne peuvent pas être traités par les machines de monsieur Tout-le-Monde.

Le seul risque qu'on prend en investissant du temps et de l'énergie dans cet ouvrage est la vitesse à laquelle avance le domaine en question...