

COMMENT PARLE UN ROBOT ?

LES MACHINES À LANGAGE
DANS LA SCIENCE-FICTION



FRÉDÉRIC LANDRAGIN
COMMENT PARLE
UN ROBOT ?

LES MACHINES À LANGAGE
DANS LA SCIENCE-FICTION



Dans la collection « Parallaxe »
aux éditions du Béliâl'

- *La science fait son cinéma*, de Roland Lehoucq et J.-Sébastien Steyer
- *Comment parler à un alien ?*, de Frédéric Landragin
- *Station Metropolis direction Coruscant*, d'Alain Musset

Si vous voulez être tenu au courant de nos publications,
écrire aux auteurs, illustrateurs, ou recevoir un
bon de commande complet, deux adresses :

Le Béliâl'
50 rue du Clos
77670 Saint Mammès
France

ou

www.belial.fr

venez discuter avec nous sur <http://forums.belial.fr>

© 2020, Frédéric Landragin
© 2020, le Béliâl', pour la présente édition

Couverture et illustrations © 2020, Cedric Bucaille | Agence & Pourquoi Pas ?

Collection « Parallaxe » dirigée par Roland Lehoucq

Merci à Joachim Albertini pour la relecture

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION	19
Le langage et l'intelligence artificielle (IA)	23
Le traitement automatique des langues (TAL)	32
Un peu d'organisation	40
CHAPITRE 1 : LES FACETTES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PARLANTE ...	45
Intelligence et pensée : <i>Barrière mentale</i> de Poul Anderson	48
Évaluer l'intelligence à l'aide du langage : le QI, le QE, mais quid des IA?	52
L'IA en SF et en réalité : Skynet versus DART	56
Les systèmes experts : « <i>Un Logique nommé Joe</i> » de Murray Leinster	58
L'apprentissage artificiel : « Demande infos ! » dans <i>Short Circuit</i>	61
Les agents conversationnels animés : <i>Tron</i> de Steven Lisberger	65
Langage, TAL et IA	69
CHAPITRE 2 : LES FACETTES DU TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES LANGUES	73
Définitions et discussions préalables	76
L'analyse lexicale et morphosyntaxique : <i>Premier Contact</i> de Denis Villeneuve	83
L'analyse syntaxique : le masque dans <i>L'Enchâssement</i> de Ian Watson	89
Les analyses sémantiques : « <i>Un Monde de talents</i> » de Philip K. Dick	95
La détection des entités nommées : Herxingemosiken	104
La détection des actes de langage : <i>La Machine ultime</i> d'Alfred E. Van Vogt	108
Le traitement automatique au-delà de la phrase	111
La fouille de textes	118
CHAPITRE 3 : LA MACHINE QUI COMPREND TOUT CE QU'ON LUI DIT	123
La reconnaissance de la parole : <i>Vision aveugle</i> de Peter Watts	125

Langage et émotions : <i>A.I. Intelligence artificielle</i> de Steven Spielberg	132
Langage et cognition : HAL dans <i>2001, l'Odysée de l'espace</i>	137
L'inférence linguistique : « <i>Comprends</i> » de Ted Chiang	141
La machine omnisciente : <i>Person of Interest</i> de Jonathan Nolan	144
CHAPITRE 4 : LE TRADUCTEUR AUTOMATIQUE UNIVERSEL	149
Comment communiquer ? Le <i>babel fish</i> de Douglas Adams	152
Dispositif ou procédé ?	154
La traduction automatique, c'est avant tout de la linguistique	157
De la linguistique à la statistique	161
Réalités et enjeux actuels de la traduction automatique	166
Ce qu'un traducteur automatique peut et ne peut pas faire	168
Une machine peut-elle concevoir une interlingua ?	171
Le traducteur automatique universel, c'est de la magie !	172
CHAPITRE 5 : LE DIALOGUE ENTRE HUMAINS ET MACHINES	175
Les différents modes de communication entre humains et machines	178
HAL de <i>2001</i> et Samantha de <i>Her</i> , deux IA qui ont de la voix	182
Les machines parlantes envahissent la SF	184
Le test de Turing : <i>L'Âge de diamant</i> de Neal Stephenson	186
La synthèse vocale : <i>Révolte sur la Lune</i> de Robert Heinlein	192
Le dialogue humain-machine, domaine fédérateur du TAL	194
Où sont les principales difficultés ?	200
ANTICIPONS !	203
Quel avenir pour le TAL ?	206
Quel avenir pour l'IA ?	211
NOTES	219
BIBLIOGRAPHIE	231
INDEX DES NOTIONS	247

À la mémoire d'Isabelle Tellier (1968-2018), inoubliable Pandora curieuse de tout, professeure de linguistique informatique toujours prête à discuter de films de science-fiction et de médiation scientifique.

Merci à Yannis Haralambous pour ses relectures attentives, ses suggestions minutieuses, et pour avoir porté à mon attention plusieurs nouvelles ou romans qui manquaient à ma collection. Merci à mes collègues du laboratoire Lattice, notamment à Thierry Poibeau pour nos échanges stimulants sur la traduction automatique et l'apprentissage artificiel. Enfin et surtout, merci à Roland Lehoucq, Olivier Girard et Erwann Perchoc pour m'avoir fait confiance, encouragé et accompagné tout au long de ce travail enrichissant.

AVANT-PROPOS

LE TERMINATOR MODÈLE T-800 a trouvé refuge dans son antre, où il entrepose ses armes et répare les mécanismes endommagés de son bras ou son œil. Les lambeaux de peau humaine qu'il a arrachés de son squelette métallique pourrissent de jour en jour, et de mauvaises odeurs s'en dégagent. Assis sur le lit, il feuillette l'agenda trouvé au domicile de Sarah Connor, pour identifier des indices lui permettant d'atteindre celle-ci. À travers la porte, il entend soudain un homme d'entretien qui frappe plusieurs fois et demande : « Eh mec ! Qu'est-ce que c'est qui pue comme ça ? Un chat crevé ? » Pas question d'ignorer cette intervention. En vue subjective, la caméra montre les informations provenant de l'intelligence artificielle (IA) qui pilote le Terminator. Apparaît l'indication « réponses possibles » et un menu déroulant avec six choix : « oui/non », « et alors ? », « dégage », « merci de revenir plus tard », « va te faire foutre, connard » et « va te faire foutre ». Le système choisit l'avant-dernière réponse, qui apparaît en surbrillance et qui est prononcée aussitôt. Ah, l'humeur massacrate du Terminator... L'homme d'entretien ricane doucement et s'éloigne sans insister — heureusement pour lui.

Cette scène du film *Terminator* (James Cameron, 1984) est l'une des rares à montrer à l'écran les étapes de raisonnement d'une machine parlante. Elle nous permet d'illustrer de manière simple quelques aspects linguistiques et communicatifs de ce raisonnement. Ainsi, l'intervention de l'homme d'entretien

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

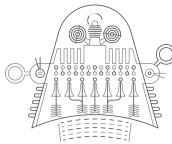
(on parle d'*énoncé*) est la succession d'un appellatif et de deux questions, la dernière — « un chat crevé ? » — étant fermée, c'est-à-dire amenant comme réponse soit « oui » soit « non ». D'où le premier choix, linguistiquement littéral : « oui/non ». Mais répondre oui ou non ne suffirait probablement pas à satisfaire le curieux : l'IA le sait et c'est pourquoi les autres réponses apportent un contenu, sans pour autant révéler la source de l'odeur nauséabonde — comme le ferait par exemple « ne vous en faites pas, mon brave, c'est la chair que j'ai arrachée de mon squelette qui se putréfie ». La réponse-type « merci de revenir plus tard » permettrait au Terminator de rester tranquille encore un moment. L'injure va dans le même sens, mais de manière plus définitive : c'est donc l'énoncé qui sera synthétisé oralement. Le registre de langue est vulgaire, aux antipodes de celui du droïde de protocole C-3PO dans *La Guerre des étoiles* (George Lucas, 1977), mais on peut souligner que l'IA fait un choix pertinent, car compatible avec la tranquillité recherchée.

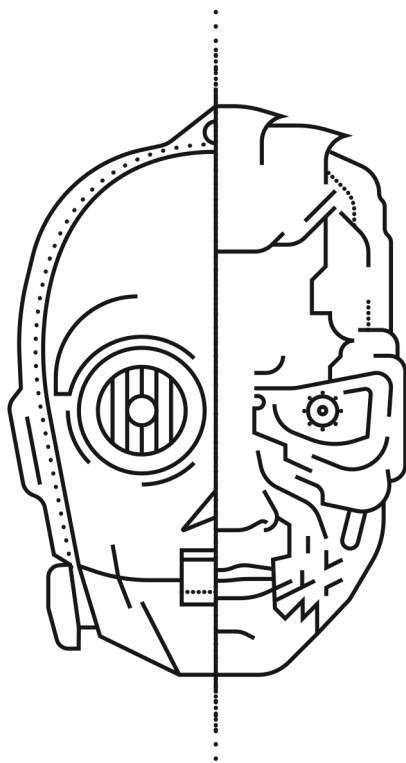
Une IA parlante fonctionne-t-elle comme Terminator ? Les robots de compagnie, les enceintes connectées et les chatbots sur Internet suivent-ils ces étapes de raisonnement linguistique ? Comment une machine peut-elle déterminer par elle-même une liste de réponses possibles ? Comment le langage humain peut-il être traité et manipulé automatiquement ? Les IA et robots parlants de la science-fiction (SF) sont-ils réalistes ? Les chercheurs en linguistique et en IA sont-ils ou seront-ils bientôt en mesure de concevoir le logiciel qui pilote le Terminator, ou celui de C-3PO, capable d'après *Le Retour du Jedi* (Richard Marquand, 1983) de pratiquer six millions de formes de communication ? Si oui, en faisant appel à quelles techniques ?

Ce livre répondra à ces questions et vous fournira les connaissances élémentaires de ce domaine scientifique intitulé le traitement automatique des langues (TAL). Nous

AVANT-PROPOS

étudierons ainsi plusieurs types de *machine à langage* que l'on rencontre fréquemment en SF et qui existent parfois dans la réalité. Nous explorerons le monde fascinant de l'informatique linguistique, de la traduction automatique, du dialogue humain-machine — dialogue en langage naturel entre une machine et son utilisateur humain — ainsi que des IA capables de comprendre, synthétiser, résumer et produire du langage aussi bien que les humains. Pour notre plus grand confort, ou peut-être notre plus grand malheur, allez savoir !





INTRODUCTION

PEU DE DOMAINES SCIENTIFIQUES suscitent autant de peurs et d'interrogations que l'IA. Au fil des semaines, les articles alarmants se succèdent dans la presse internationale, de même que les comparaisons avec Terminator, les pétitions et les tentatives d'explication de chercheurs, chargés de rendre compréhensibles les évolutions de l'IA depuis l'époque des *systèmes experts* — logiciels qui remplacent un expert humain pour une tâche très précise — jusqu'à celle de l'*apprentissage artificiel*, technique parfois considérée comme l'avenir des machines et la fin de l'humanité. Pensez donc : une machine capable d'apprendre de nouvelles connaissances et de nouveaux comportements pourrait progresser indéfiniment, alors que la fatigue et la dégénérescence auront raison des pauvres humains que nous sommes. Et que dire de la SF ! Avec la notion de *singularité technologique*, sorte de point de non-retour de la supériorité (quantitative) de l'IA sur l'humain, Vernor Vinge (1944-) a tourmenté le lectorat depuis la fin des années 1980. Le cinéma s'en est fait l'écho, avec une imagerie forte qui a nourri une nouvelle génération de romanciers et scénaristes. Robots et IA sont désormais communs en SF, au point que certains auteurs n'osent même plus envisager leur monde futuriste sans IA hyper-évoluée.

Pourtant, si les avancées scientifiques majeures se succèdent, on peine toujours à rapprocher Pepper (SoftBank Robotics) — ou son prédécesseur Nao, ou Asimo (Honda), ou même Atlas (Boston Dynamics) — de Terminator. Car ces robots réels ne fonctionnent correctement que dans des conditions très précises, bien en deçà des capacités de compréhension du monde et d'évolution autonome de Terminator. Comme c'est le langage qui nous intéresse, citons aussi Siri (Apple),

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

Cortana (Microsoft), Alexa (Amazon) ou encore Google Home, et laissons de côté les aspects robotiques — autonomie et biomécanique. Or on ne peut que constater que Siri et Pepper n'ont pas vraiment le sens de la répartie de Terminator, ni les capacités de compréhension et de dialogue de C-3PO. Les voies empruntées par la science et la SF divergent-elles ? Pourquoi les robots de la SF parlent-ils sans difficulté depuis longtemps, alors que les robots de la science semblent tout juste capables d'aligner des phrases prédéfinies, recrachées telles quelles ? L'informatisation de la linguistique est-il un problème si complexe ?

Depuis l'arrivée des premiers ordinateurs dans les années 1950, modéliser le langage est devenu un enjeu de taille, une sorte de quête du Graal que l'on suit pas à pas, effort après effort. La linguistique s'est rapprochée de l'informatique et des possibilités de calcul des ordinateurs, au point de constituer un nouveau domaine. Celui-ci s'est appelé *linguistique computationnelle*, ou *ingénierie linguistique*, a construit ses fondations sur le problème de la traduction automatique, et a œuvré pour le *web sémantique*, à savoir l'organisation des données pour autoriser leur traitement par des machines, afin d'aider les utilisateurs à créer de nouvelles connaissances. Les spécialistes désignent ce domaine sous le nom de « traitement automatique des langues » et l'abrègent en TAL. Peu connu du grand public, il s'agit d'un domaine de recherche et de développement très actif, ainsi que d'une industrie qui englobe le marché de la traduction automatique comme celui des chatbots, et qui entretient des liens forts avec le domaine bien plus médiatisé de l'IA.

Quelles sont les relations entre linguistique, TAL et IA ? Pourquoi la SF met-elle en avant l'IA, parfois la linguistique⁽¹⁾, mais quasiment jamais le TAL ? Celui-ci est-il implicite dans les histoires de robots parlants et dans les interventions de traducteurs automatiques, par exemple lors d'un premier

contact avec des extraterrestres ? C'est ce que nous verrons tout au long de ce livre, en nous appuyant sur de nombreuses illustrations tirées de la SF.

Le langage et l'intelligence artificielle (IA)

Concevoir une IA douée de langage peut se faire de deux manières opposées. Appelons Terminator-A et C-3PO-A les incarnations de la première manière, Terminator-B et C-3PO-B celles de la seconde.

L'intelligence de Terminator-A fonctionne à base de *règles*, comme « si je vois une personne appelée Sarah Connor, alors je tire » et « si quelqu'un me dérange dans mon antre, alors je l'en dissuade, quitte à lui faire peur ». Ces règles de comportement œuvrent à un haut niveau d'abstraction et se développent en une multitude de règles plus précises, comme « si quelqu'un me pose une question, alors je coupe court à sa curiosité ». Avec cette dernière règle, Terminator-A n'est pas bavard — tout le contraire de C-3PO-A, chez qui la règle correspondante ressemblerait plutôt à « si quelqu'un me pose une question, alors je m'efforce de satisfaire sa curiosité, et j'en rajoute avec un commentaire soulignant l'étendue de mes compétences ». C'est ainsi que quand Luke lui demande s'il comprend le langage des Ewoks, C-3PO-A répond : « *Oh oui, Maître Luke, n'oubliez pas que je connais six millions de formes de communication.* » Ce sont aussi des règles qui permettent à Terminator-A d'identifier six réponses possibles à l'homme d'entretien, et ce sont encore d'autres règles qui en évaluent la pertinence, aboutissant à retenir « va te faire foutre, connard ».

L'intelligence de Terminator-B se base sur des probabilités. Au moment de sa conception, on lui a fait ingérer des milliers de dialogues humain-machine. Dans la plupart d'entre eux, la machine ne répond pas, rembarre voire insulte l'humain. En apprenant automatiquement à partir de ces multiples

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

exemples, Terminator-B en a déduit ses propres règles de fonctionnement, qui ne sont pas exprimables explicitement comme celles de Terminator-A, mais œuvrent par croisement de probabilités. Face à une situation donnée — celle avec l'homme d'entretien, par exemple —, plusieurs réponses sont identifiées à partir des exemples appris, et ce sont des probabilités qui permettent à Terminator-B de choisir « va te faire foutre, connard ». Pour concevoir C-3PO-B, on a procédé de même, mais en lui faisant ingérer des milliers de dialogues humain-machine impliquant une machine bavarde et vantarde, plutôt que concise et brutale.

Explorons maintenant les facettes techniques de ces deux manières de concevoir une IA parlante. Nous donnerons ainsi les définitions de base de l'IA, et nous enchaînerons avec celles du TAL.

En 1988-1989 paraît *L'Intelligence artificielle et le langage*⁽²⁾, ouvrage scientifique en deux volumes écrit par le spécialiste de TAL et d'IA Gérard Sabah (1948-). Le premier tome explore la représentation des connaissances dans une machine, le second les algorithmes — procédés informatiques tels que des instructions exécutées à la suite l'une de l'autre — utiles pour doter un logiciel de capacités de compréhension automatique et de dialogue humain-machine. Les techniques explorées, c'est-à-dire les types d'algorithmes et les façons d'encoder des connaissances, sont celles qui permettraient de concevoir Terminator-A et C-3PO-A... mais toutes proportions gardées : dans les films, les machines se débrouillent très bien face à des centaines de situations complexes, affinent leurs stratégies et corrigent leurs erreurs d'appréciation. Dans la réalité, des résultats ne sont envisageables que dans un micro-monde complètement décortiqué et minutieusement décrit, avec des conditions de fonctionnement contrôlées et restreintes. Car même dans un contexte réduit, il faut programmer des milliers et des milliers de règles pour espérer

obtenir une machine ayant un comportement intéressant. Plusieurs techniques étudiées par Gérard Sabah et les chercheurs de cette époque sont toujours utilisées aujourd'hui : sans les reprendre exactement, Siri ou Pepper en exploitent les grands principes.

L'ensemble est représentatif de la première approche de l'IA, dite *symbolique*, qui consiste à modéliser tout ce qui a trait au langage sous la forme de règles explicites, écrites par des programmeurs avec l'aide de linguistes. Le traitement d'une phrase comme « les robots parleront » active ainsi des règles sur les combinaisons possibles entre un déterminant et un nom pour former un groupe nominal, sur le fait que « les » signale un pluriel, que déterminant, nom et verbe doivent s'accorder en genre et en nombre, et sur la connaissance qu'un groupe nominal (GN) placé devant un verbe intransitif à la voie active (V) conduit à une phrase grammaticalement complète (P) — ce que l'on note « GN + V = P ».

On le voit, beaucoup de notions issues de la grammaire du français sont exploitées. En effet, pour que le système — ou logiciel, ou programme informatique — puisse traiter un grand nombre de phrases, on doit le doter de connaissances exhaustives sur les différents types de phrases, les règles d'accord, l'ordre des mots et ainsi de suite. Un système conçu pour la langue française doit connaître le lexique du français, et donc la liste des déterminants, des noms communs, des verbes, adjectifs, adverbes... Il doit connaître les mots avec toutes leurs orthographes et prononciations possibles : « parle », « parlons », « parlez », « parlent », « parleront » et bien d'autres pour le verbe « parler ». Il doit savoir à quelle notion linguistique se rapporte chaque forme : mode, temps, personne, nombre... Il doit savoir comment se construit une phrase, comment reconnaître son sujet, son verbe ou son complément d'objet direct.

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

Toutes les règles de grammaire enseignées à l'école primaire sont à considérer! Et bien plus si le système a un objectif de compréhension automatique : pour comprendre « les robots parleront », il faut introduire des connaissances sur le sens des mots — leur *sémantique* — et le sens des phrases. Un « robot » est un être animé et peut donc effectuer une action comme parler, répondre, dialoguer, se taire, tomber en panne. S'il s'agit de Pepper ou Nao, il peut aussi se déplacer, tomber, se rattraper, s'endommager.

Et ce n'est pas tout : une compréhension fine nécessite de prendre en compte le contexte — objet d'étude de la *pragmatique*. Le groupe nominal « les robots » désigne-t-il tous les robots, ou seulement ceux dont il a été question plus tôt dans le dialogue ? Que peut-on déduire de « les robots parleront » ? Cela sous-entend-il que « les robots ne parlent pas » ? Le système confronté à cette phrase doit-il *inférer* (déduire) quelque chose et réagir en conséquence ? Vous le constatez : le traitement d'une simple phrase peut poser de nombreuses questions.

L'approche symbolique de l'IA consiste à anticiper dès la conception le plus grand nombre de ces questions. Celles qui concernent la grammaire du français relèvent du TAL, celles qui concernent le raisonnement et le choix d'une réaction ou réponse adaptée relèvent plutôt de l'IA. Dans tous les cas, règles et connaissances sont déclarées en utilisant des symboles, comme dans « GN + V = P », et les traitements consistent en manipulations de symboles.

Continuons avec la deuxième manière de concevoir une IA parlante. En 1999 paraît *Foundations of Statistical Natural Language Processing* ⁽³⁾, un ouvrage scientifique qui décrit l'utilisation de méthodes statistiques pour le TAL. De fait, l'IA comme le TAL s'intéressent de plus en plus aux alternatives aux méthodes symboliques. Ces alternatives constituent la deuxième approche de l'IA, actuellement prédominante,

en attendant — peut-être ! — un éventuel retour vers l'approche symbolique ou l'exploration de méthodes hybrides.

Cette deuxième approche de l'IA est dite *numérique* : elle consiste à numériser les données et connaissances, pour que celles-ci puissent faire l'objet de calculs mathématiques. Une sous-partie de cette approche, appelée *probabiliste*, traite les données statistiquement : elle manipule des probabilités — par exemple celle qu'un pronom précède un verbe plutôt que lui succède — qui introduisent des *approximations* (alors que l'approche symbolique fonctionne de manière *exacte*).

Mieux : les mots de la langue eux-mêmes sont transformés en données numériques (par exemple en *vecteurs*, c'est-à-dire en listes de nombres), ce qui permet de les traiter avec des outils mathématiques et de leur appliquer un éventail extrêmement riche d'algorithmes. Et notamment, des algorithmes pour apprendre, comme pour Terminator-B et C-3PO-B.

La machine apprend ainsi par elle-même, à partir d'exemples qu'on lui fournit. On parle d'apprentissage machine — apprentissage artificiel se dit *machine learning* en anglais — pour le différencier de l'apprentissage humain, car ces deux apprentissages ne sont pas similaires. Il suffit à un enfant de voir un dessin d'éléphant pour « apprendre » ce qu'est un éléphant. Au contraire, des centaines de photos d'éléphants sont nécessaires pour qu'une machine « apprenne » à en reconnaître un. Plusieurs techniques ont été imaginées pour cela, depuis des méthodes très mathématiques jusqu'au succès récent des *réseaux neuronaux artificiels* dans plusieurs domaines de l'IA : reconnaissance de caractères écrits, vision artificielle, aide à la conduite automobile, météorologie, jeu de go... Un réseau neuronal artificiel est une architecture informatique inspirée du fonctionnement du cerveau humain : elle comporte des neurones artificiels et des connexions entre neurones. Pour que le système ne soit pas trop gourmand en temps de calcul, le neurone doit rester simple : facile à programmer,

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

rapide à exécuter. De fait, il s'agit d'une fonction mathématique basique, parmi les plus simples que l'on peut étudier au lycée⁽⁴⁾.

Cette approche, appelée *connexionniste*, est une variante de l'approche numérique. Sa puissance vient de la nature et du nombre de connexions entre neurones : la simplicité du neurone est compensée par la quantité et par des mécanismes bien choisis. Gardons-nous cependant de rapprocher la quantité de neurones artificiels ou de mémoire informatique exploitée par un réseau neuronal, du nombre de neurones d'un cerveau humain (cent milliards) : même si les chiffres tendent à se rapprocher, même si les ordinateurs dépassent un jour les humains, un réseau neuronal reste un algorithme utilisé pour apprendre (et qui apprend certes plutôt bien). Néanmoins, aucun comportement totalement original ne va soudainement émerger chez la machine.

Surtout, l'IA connexionniste repose sur un besoin important, celui de données. Pour apprendre, un système doit les explorer, si possible en très grande quantité. L'apprentissage ne consiste pas à retenir toutes ces données (sinon c'est bêtement « par cœur » !) mais à établir des rapprochements et à en déduire des règles. Le modèle appris permet ainsi de traiter des cas qui ne font pas partie des données d'apprentissage — appelées aussi données d'entraînement. Par exemple, un modèle prédira que « les robots parleront » est une phrase grammaticalement complète si les données d'entraînement comprenaient les phrases « le robot parle très mal », « le représentant parle toute la journée » et « les représentants parleront ». Mieux : en fonction des cas observés dans les données d'entraînement et de leur fréquence d'apparition, le système accordera à « les robots parleront » une probabilité plus ou moins élevée de constituer une phrase grammaticalement complète.

L'intérêt, c'est qu'on n'a plus à programmer de logiciel, ni de règle comme « $GN + V = P$ » : il suffit de disposer d'exemples en grand nombre et de lancer un processus d'apprentissage pour obtenir un modèle tout prêt, doté de ses propres règles. La médaille possède cependant son revers : lancer ce processus sur des exemples de mauvaise qualité, voire biaisés, conduit à élaborer un système au comportement biaisé. Microsoft l'a douloureusement constaté en mars 2016, quand son chatbot Tay, capable d'apprendre en dialoguant avec des humains, a été activé sur le web : des utilisateurs malins l'ont nourri de nombreux exemples misogynes et racistes. En toute logique, Tay s'est mise à produire des phrases misogynes et racistes, dès sa première journée de présence sur les réseaux sociaux ! L'opinion internationale en a été choquée, Microsoft a déconnecté Tay, mais aucun spécialiste d'IA ou de TAL n'a été vraiment surpris du résultat.

Nous avons mentionné plus haut que tout opposait les deux approches de l'IA. Effectivement, les concepteurs de systèmes symboliques programment, tandis que ceux de systèmes numériques accumulent et adaptent des données. En informatique, on raisonne souvent avec une entrée et une sortie : la première correspond à la situation détectée par le robot, la seconde au comportement de celui-ci, déclenché par le programme en fonction de l'entrée. Les deux approches diffèrent sur la gestion des entrées et sorties : la machine symbolique prend un programme (connu) et une entrée (inconnue) pour en faire une sortie, tandis que la machine numérique commence par prendre des entrées et des sorties connues pour en faire un programme (le modèle), utilisé ensuite pour produire une sortie à partir d'une entrée inconnue.

Qui plus est, les avantages de l'une correspondent aux inconvénients de l'autre. L'avantage principal de l'approche symbolique est le traitement 100 % correct des cas prévus lors de la conception : forcément, c'est pour eux que les règles

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

ont été conçues ! Mais ses limites apparaissent dès que l'on souhaite traiter un cas non prévu : le système génère une mauvaise réponse, voire aucune réponse du tout, ou un agaçant « je ne comprends pas ce que vous dites ». L'approche symbolique manque ainsi de *robustesse* face aux changements et à l'hétérogénéité.

Il s'agit justement des avantages de l'approche numérique : les cas initialement prévus, donc présents dans les données, ne seront peut-être pas traités correctement à 100 %, mais l'approche s'avère bien plus solide — *robuste* — face aux données irrégulières et à l'hétérogénéité, ce qui étend son champ d'action. L'inconvénient est que les règles déterminées par le système sont lisibles seulement par lui-même et doivent donc être acceptées telles quelles, sans modification possible (il faudrait alors relancer un apprentissage), tandis que les règles de l'approche symbolique peuvent être lues, évaluées, critiquées et corrigées.

Pour rendre compte de ce problème de lisibilité, on parle pour l'approche symbolique de boîte transparente — car on peut « voir » les règles — et, pour l'apprentissage artificiel, de boîte noire — on ne voit rien à l'intérieur : le fonctionnement du système est opaque. L'écrivain Peter Watts (1958-) grossit à peine le trait dans *Starfish*, paru en 1999 avec une annexe qui montre que la documentation de l'auteur date de 1992, soit largement avant l'avènement de l'apprentissage artificiel. L'extrait suivant évoque des « gels » intelligents, sortes d'IA du futur : « Ça donne le frisson, ces gels. Vous savez qu'il y en a un qui a asphyxié des gens à Londres il y a quelques années ? [...] Il y gérait le métro, états de service impeccables, jusqu'à ce qu'un jour il oublie de démarrer les ventilateurs au moment où il était censé le faire. La rame entre dans la station à quinze mètres sous terre, tout le monde sort, pas d'air, boum [...] Ces trucs-là accroissent leurs connaissances par apprentissage [...] tout le monde pensait qu'il avait appris à lier la ventilation à un signal

évident. Genre chaleur corporelle, mouvement, niveau de CO₂ ou je ne sais quoi. On a découvert qu'il se basait en fait sur l'observation d'une horloge murale. L'arrivée de la rame correspondait avec un sous-ensemble prévisible de configurations sur l'affichage numérique, si bien qu'il lançait les ventilateurs chaque fois qu'il repérait une de ces configurations. » La conclusion de l'extrait est éloquente : il a suffi que l'horloge soit vandalisée pour que la catastrophe survienne. Si l'on avait pu lire dans le système, on aurait tout de suite constaté qu'il y avait un problème. Notons que des chercheurs en IA s'intéressent depuis peu à rendre les boîtes noires plus transparentes, avec le courant grandissant de l'IA explicable, qui cherche à explorer et à rendre analysables les calculs faits par le système.

Là où les deux approches se rejoignent, c'est dans la quantité de travail à accomplir : travail d'écriture de règles pour l'approche symbolique, travail de préparation de données d'entraînement pour l'approche numérique.

L'IA avoue ici ses faiblesses : ni Terminator ni C-3PO ne sont actuellement réalisables, que ce soit en version A ou en version B, car on les voit dans les films capables de réagir et de se comporter intelligemment dans un trop grand nombre de situations. Si Pepper, Nao, Siri et Cortana fonctionnent, c'est parce que leur comportement se limite d'emblée à des situations bien précises, clairement délimitées. Pepper et Nao sont incapables de réagir face à une situation non prévue, comme fuir en cas de danger — notion qu'ils ne connaissent pas et ne sauraient de toute façon pas reconnaître. Siri et Cortana transmettent ce qu'on leur dit à un moteur de recherche, mais ne sont pas capables de commenter les dernières actualités comme vous le faites en famille ou à la pause-café. L'écrivain Léo Henry l'a compris : *« Le langage tel qu'il est pratiqué par les humains est un système trop complexe à modéliser pour que les machines les plus perfectionnées soient capables de le maîtriser. Mais réduisez-en le champ, limitez toutes les interactions*

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

par des règles précises, circonscrivez la créativité dans un espace et un temps déterminé, et les robots pourront vous donner l'illusion qu'ils s'expriment »⁽⁵⁾.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'enjeu n'est pas qu'une question de combinatoire : il ne suffit pas de multiplier les efforts pour passer d'un ensemble limité de situations à un ensemble de taille satisfaisante — ce que l'on appelle le *passage à l'échelle*. Beaucoup de jeunes chercheurs prêts à se lancer dans de tels efforts se sont cassé les dents face à l'accroissement spectaculaire de la combinatoire et de la complexité. Car plus on considère de mots de la langue, plus on prend en compte de concepts relatifs au monde. Et plus on considère de concepts, plus on doit prendre en compte les liens entre concepts, les conditions et contextes dans lesquels ils prennent sens (un lambeau de chair se met à pourrir au bout d'un certain temps) et qui entraînent des conséquences (puanteur, ce qui se détecte et peut inciter quelqu'un à émettre une remarque). L'*ontologie* est le nom donné à l'ensemble structuré des concepts ainsi considérés et de leurs relations. Le raisonnement logique est ce qui permet d'inférer sens et conséquences. Il s'agit de deux exemples d'applications de l'IA qui en incarnent les déconvenues historiques : pendant des dizaines d'années, on a espéré aboutir un jour à une ontologie générale, incluant tous les concepts de notre monde, et concevoir un système d'inférence universel... avant d'admettre la démesure de ces objectifs. Qu'elle suive une approche symbolique ou numérique, l'IA fait des miracles dans des domaines aux contours bien définis, pas dans la simulation de l'intelligence humaine dans sa globalité.

Le traitement automatique des langues (TAL)

Le TAL, qui relie la linguistique à l'informatique, fait partie de l'IA et connaît l'approche symbolique aussi bien que l'approche numérique, avec un net penchant pour cette dernière

depuis le début des années 2010. L'apprentissage artificiel est actuellement décliné selon toutes les techniques imaginables, en incluant le cas particulier de l'apprentissage profond — le fameux *deep learning* qui popularise l'IA auprès du grand public et qui est un type spécial de réseau neuronal artificiel organisé en couches (plus il y a de couches, plus c'est profond). Les données d'entraînement consistent en collections de textes ou d'enregistrements vocaux : on les appelle *corpus*, et on parle donc de corpus d'apprentissage (ou corpus d'entraînement).

Pour que la machine apprenne utilement plutôt qu'en aveugle, ces corpus sont *annotés* : il ne s'agit pas seulement de phrases mises bout à bout comme dans un livre, mais de phrases enrichies d'analyses. Dans un corpus, « les robots parleront » ressemble plutôt à « les[article] robots[nom] parleront[verbe] », « les robots[sujet] parleront[verbe] », ou encore à « les robots[agent] parleront[action] ». Les *annotations* sont ajoutées à la main, par des annotateurs linguistes qui passent des milliers d'heures à constituer des corpus riches d'informations linguistiques. La machine se sert de ces informations pour apprendre : avec un corpus constitué d'extraits tels que « les[article] robots[nom] parleront[verbe] », elle apprend à reconnaître automatiquement les articles, noms et verbes ; avec des exemples comme « les robots[sujet] parleront[verbe] », elle apprend à identifier les fonctions grammaticales. Après apprentissage, une machine devient capable d'*annoter automatiquement* et, en quelque sorte, prend la place des annotateurs linguistes. On voit ici ce qui constitue les tâches du TAL : il ne s'agit pas de comprendre exactement ce que Terminator ou C-3PO a bien voulu dire (trop compliqué !), mais de se focaliser sur des aspects très précis, très locaux, du fonctionnement de la langue.

Dans les films, ces tâches sont totalement invisibles : on n'en voit ni les étapes ni les résultats, même dans la vue subjective

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

de l'IA qui pilote le Terminator. Il s'agit pourtant des briques qui permettent à l'IA de fonctionner. Lorsque le Terminator entend « Qu'est-ce que c'est qui pue comme ça? », il faut bien qu'il identifie les mots constituant cette phrase, qu'il trouve où est le verbe, quel est son sujet et ainsi de suite. L'*interprétation* du langage fait appel à de nombreux processus souvent ignorés par la SF, mais qui constituent le cœur du domaine de recherche qu'est le TAL. Il en est de même pour la *production* du langage : dans l'IA du Terminator, on voit apparaître les réponses possibles telles quelles, c'est-à-dire déjà construites, alors que les processus de TAL comportent une étape de choix du verbe, de choix d'une forme injonctive, puis de choix d'une formulation parmi plusieurs possibles. Ces étapes peuvent sembler trop détaillées, revenant à couper les cheveux en quatre. Elles sont cependant nécessaires à la conception d'un robot parlant digne de ce nom.

Si l'IA montre ses limites avec l'ontologie et le raisonnement logique, le TAL montre les siennes avec ses applications historiques, à savoir la traduction automatique et le dialogue humain-machine. La première est l'objectif déclaré des premiers travaux en linguistique informatique et correspond à la naissance du TAL dans les années 1950, nous y reviendrons en détail dans le chapitre 4. En SF, C-3PO en est le champion incontesté, avec sa capacité à traduire six millions de formes de communication. La seconde a fait l'objet de fantasmes depuis plusieurs siècles, est à l'origine du test portant le nom du mathématicien Alan Turing (1912-1954), et a fait l'objet de logiciels dès les années 1960 — le chapitre 5 se penchera sur le sujet. En SF, les champions ne se comptent plus : ils incluent non seulement Terminator et C-3PO, mais aussi les robots d'Isaac Asimov (1920-1992), dont le fameux R. Daneel Olivaw, HAL de *2001, l'Odyssée de l'espace* (Stanley Kubrick, 1968) et toutes les machines parlantes qui s'inspirent de ces exemples marquants.

Nous l'avons vu, la réalité n'arrive pas à rejoindre la SF : aucun robot ou agent conversationnel n'est encore capable de dialoguer avec l'éloquence de C-3PO, ni de raconter une histoire comme le fait le T-800 de *Terminator 2 : Le Jugement dernier* (James Cameron, 1991) quand il résume l'intrigue du premier volet de la série. Quant à la traduction automatique, elle permet d'obtenir un premier brouillon plus ou moins satisfaisant, mais nécessite toujours une relecture attentive, car les erreurs grammaticales et les contresens restent nombreux, même avec les dernières versions de DeepL (deepl.com) et Google Traduction (translate.google.fr).

Si l'on parcourt l'histoire du TAL, on prend la mesure des efforts effectués, pour ces deux applications comme pour les autres — c'est-à-dire la transcription automatique de la parole (qui aide les systèmes vocaux à traiter le langage, car des chaînes de caractères s'avèrent bien plus pratiques à manipuler que des sons) ; la génération automatique de textes (qui aide les journaux comme *Le Monde* à écrire les milliers d'articles détaillant ville par ville les résultats des élections cantonales) ; la synthèse vocale (qui permet de créer des voix et de leur faire prononcer n'importe quel message — tout le contraire de la SNCF qui fait appel depuis plus de 30 ans à Simone Héroult) ; la fouille de textes, qui consiste à chercher des informations dans de grands corpus, qu'il s'agisse de mots clés, de références vers d'autres documents, ou de portions de textes pour la détection de plagiat (comme Compilatio.net). Citons encore la correction orthographique dans votre traitement de texte, le filtrage des mails pour vous éviter la lecture de spams, le sous-titrage automatique de vidéos, l'indexation de documents pour en repérer les mots clés et faciliter le travail des moteurs de recherche, Google en tête. Rien qu'à la lecture de cette liste, vous constatez aisément en quoi le TAL est fondamental dans la société numérique d'aujourd'hui. En fait,

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

vous connaissez le TAL sans connaître forcément son nom, ses techniques et son histoire.

Comme l'IA, le TAL a commencé par explorer, au cours des années 1950, des méthodes symboliques, et par décrire les langues à l'aide de formalismes — modélisations mathématiques — qui ouvrent le chemin vers d'éventuelles implémentations informatiques. Le linguiste Noam Chomsky (1928-) a le premier mis en avant les aspects formels dans l'analyse des langues, et a proposé plusieurs formalismes pour représenter et manipuler la grammaire d'une langue ⁽⁶⁾. Vous apprenez la grammaire à l'école ; Chomsky l'a formalisée de manière à en permettre un traitement automatique. Il a suggéré des règles pour générer des phrases correctes dans une langue donnée, ainsi que des règles de transformation pour passer par exemple d'une phrase à la voix active vers une phrase équivalente à la voix passive. Chomsky et d'autres chercheurs de cette époque ont commencé à explorer le passage vers l'algorithmique. Plusieurs techniques ont été développées, en commençant par des *automates finis* — modèle à base d'états et de transitions entre états, utilisé pour reconnaître des suites de mots — et des *transducteurs* — modèle basé sur un automate, mais capable de générer des mots en sortie, et donc non seulement de reconnaître mais aussi de transformer des suites de mots. Ces techniques, communes à plusieurs domaines de l'informatique, permettent de traiter des phrases, ne serait-ce que pour dire si elles sont bien formées ou non. Dans un même ordre d'idée, des techniques de réécriture de *graphes* — encore un modèle, composé cette fois de nœuds reliés en réseau — ont également été appliquées au TAL ⁽⁷⁾.

C'est ainsi que Chomsky a lancé une révolution scientifique dans les années 1950. Le nom à retenir pour la révolution des années 1960 est celui de Richard Montague (1930-1971), mathématicien à l'origine de recherches en logique et en phi-

losophie du langage, qui ont mis en évidence les aspects logiques des langues⁽⁸⁾. Montague a été le premier à explorer une approche logique de la sémantique, creusant ainsi la question du sens, là où Chomsky restait surtout au niveau de la *syntaxe*, c'est-à-dire de la façon dont les mots se combinent pour former des phrases. Mais, de même que Chomsky n'a pas fourni les recettes pour implémenter un système de traitement automatique de phrases, Montague n'a pas implémenté de système de compréhension automatique clé en main. Comme le décrit le *Panorama de l'intelligence artificielle*⁽⁹⁾, « *il y a de fait un gouffre entre ces théories et un calcul effectif du sens d'un texte ou d'un discours.* » Le TAL bénéficie de ces théories, mais les informaticiens qui implémentent les premiers systèmes n'obtiennent rien d'autre que des programmes-jouets, capables de traiter un sous-ensemble ridiculement restreint de phénomènes linguistiques.

La révolution scientifique des années 1970 réside peut-être dans la prise en compte des intentions sous-jacentes et des structures qui sous-tendent les textes — ou *discours*, pour reprendre le terme utilisé en linguistique. Par exemple, un dîner au restaurant suit des étapes prévisibles, qui constituent ce que l'on appelle un *script* : lecture du menu, choix de plats, commande, service et ainsi de suite. Traiter automatiquement la narration d'un dîner peut bénéficier d'un guidage par des connaissances de haut niveau, qui n'ont plus rien de linguistique mais relèvent du fonctionnement du monde. Dans un micro-monde bien décrit, un système de compréhension automatique s'en sort à peu près, pas dans un monde sans scripts. Avec l'essor de l'informatique et de langages de programmation comme Prolog (dont le nom signifie « programmation en logique »), les années 1970 voient apparaître de tels systèmes de TAL.

Les années 1980 représentent une révolution pour le dialogue humain-machine : pour la première fois, la langue est

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

envisagée comme une modalité de communication parmi d'autres, comme la modalité de gestuelle. Parmi les éléments de gestuelle on trouve le geste de désignation — ou geste de pointage. Or les ordinateurs, depuis les inventions de Douglas Engelbart (1925-2013), ont désormais une souris, qui permet justement de pointer. Se succèdent alors des systèmes capables de traiter plusieurs modalités — on les appelle *multimodaux* —, en premier lieu la parole et le geste de pointage. Plutôt que de produire des commandes vocales telles que « mets l'icône du navigateur Internet en haut à gauche du bureau », l'utilisateur peut dire « mets ça ici » tout en cliquant sur l'icône puis à l'endroit désiré (cet exemple trivial a des équivalents plus pertinents dans des environnements virtuels). De nouvelles capacités de compréhension sont explorées et de nouvelles théories linguistiques sont exploitées, par exemple celles portant sur l'interprétation des pronoms et adverbess démonstratifs « ce », « ceci », « celui-ci », « ici », « là », « là-bas ». Les années 1980 sont aussi la décennie des avancées significatives sur les architectures des programmes informatiques complexes, avec l'essor des approches à base d'agents logiciels, c'est-à-dire de composants se comportant comme des modules capables de communiquer les uns avec les autres pour résoudre collectivement un problème.

Ces recherches auront des répercussions sur les architectures des systèmes de TAL, car un agent « syntaxe » peut communiquer avec un agent « sémantique » et un agent « pragmatique » pour traiter une phrase : quand l'agent « sémantique » aboutit à trois interprétations possibles, les autres agents peuvent l'aider à sélectionner la bonne interprétation. Les années 1990 voient ainsi le succès du modèle BDI (*belief, desire, intention*), dans lequel chaque agent est doté de croyances, de désirs et d'intentions. Ces agents sont qualifiés d'intelligents et les recherches mettent en avant l'intérêt pour un système de dialogue humain-machine de raisonner en termes de BDI. En parallèle,

on assiste à la multiplication des campagnes d'évaluation internationales, mettant plusieurs équipes de chercheurs en compétition sur les mêmes données et avec la même tâche de TAL à résoudre — *Message understanding conferences* (MUC), par exemple. Les données (annotées) sont publiques et les années 1990 correspondent aussi à l'essor des démarches ouvertes, avec des ressources et des systèmes mis à disposition librement sur le web, favorisant le partage des connaissances et la reproductibilité des travaux. Se développent également les agents conversationnels animés (ACA), autrement dit des têtes parlantes — ou objets animés, à l'image de Clippy, le trombone de Microsoft Office — qui personnifient les systèmes de dialogue : sur l'écran apparaît la tête d'un personnage (ou *avatar*), à qui vous parlez et qui vous répond. Comme pour la multimodalité, l'enjeu est d'explorer les gestes, expressions et comportements de la tête parlante. Pas question que l'avatar reste figé : il faut au contraire qu'il transmette visuellement son attention, son engagement dans le dialogue, sa capacité à incarner un interlocuteur valable et... intelligent !

Les années 2000 balayent les approches symboliques et assoient progressivement les techniques d'apprentissage artificiel pour le TAL, qui s'orienteront dans les années 2010 vers les réseaux neuronaux artificiels. Les recherches se multiplient dans de nombreuses directions et les démonstrateurs aussi bien que les produits finis envahissent conférences, salons et autres médias. Google Traduction date de 2005, Nao de 2007, Siri de 2011, Pepper et Cortana de 2014 : le début du XXI^e siècle voit la multiplication et la diffusion des systèmes opérationnels.

Mais alors, que fait un chercheur spécialiste de TAL ? Ce qui est sûr, c'est qu'il ne fabrique pas un robot parlant tout seul dans son garage. Ni une machine capable de comprendre tous ses mails, d'y répondre par elle-même et d'en résumer l'essentiel le soir venu. Encore moins une application vouée

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

à prendre la place d'un professeur des écoles, d'un journaliste politique ou d'un présentateur météo.

Dans son travail quotidien, un spécialiste de TAL tente d'ajouter à un analyseur syntaxique la prise en compte d'un cas particulier auparavant ignoré, d'améliorer les performances d'un système d'apprentissage focalisé sur les fonctions grammaticales, d'adapter un système de détection des *entités nommées* (noms propres, dates, lieux...) conçu pour des textes législatifs au traitement de textes médicaux, de contribuer à la constitution d'une nouvelle ressource linguistique — un corpus où les pronoms démonstratifs sont annotés avec différents rôles sémantiques, par exemple —, ou encore de préparer un système pour une participation à une campagne internationale. Les tâches sont généralement ponctuelles et précises. On trouve dans la campagne SemEval 2019 (*Semantic Evaluation*) une tâche de détection automatique, dans un ensemble de messages Twitter en anglais et en espagnol, des posts qui expriment de la haine envers les migrants ou les femmes. Le corpus est fourni : à vous de programmer le système qui se trompera le moins.

La conception d'un robot parlant requiert toutes ces tâches ! Pour être généraliste comme le sont C-3PO et Terminator, ce robot doit traiter tous les cas syntaxiques qu'un humain est capable de traiter, il doit comprendre aussi bien des textes législatifs que médicaux, il doit interpréter correctement les pronoms démonstratifs et repérer quand on lui parle avec haine. Ces quelques exemples pris parmi une multitude d'autres montrent à quel point l'enjeu est énorme.

Un peu d'organisation

Après cette introduction à l'IA et au TAL, vous aurez compris que l'une comme l'autre se structurent en une multitude de tâches. Les techniques sont partagées, mais les données de base du TAL sont linguistiques, alors que celles de l'IA sont

plus variées et incluent par exemple des images, avec des applications comme la reconnaissance de visages ou le repérage de panneaux de signalisation pour une voiture autonome. Si l'on revient à la scène où le Terminator envoie balader l'homme d'entretien, notons que l'IA intervient pour l'appréhension de la situation et des risques encourus, pour la décision de répondre à l'homme d'entretien (plutôt que de rester muet), et que le TAL opère plutôt pour la compréhension de l'intervention de l'homme d'entretien, la détermination de l'intention sous-jacente (curiosité) et la formulation d'une réponse.

Ce livre traite essentiellement de TAL, et fera quelques incursions en IA et en linguistique. C'est son but et son originalité, et nous chercherons à illustrer la plupart des notions et des caractéristiques par un exemple tiré d'une œuvre de SF. Nous verrons que certains auteurs de SF connaissent bien les facettes de l'IA, parfois du TAL, et que d'autres simplifient ou se trompent — au bénéfice du récit, du dépaysement ou du message véhiculé (du genre : « attention, les robots vont bientôt nous surpasser et nous détruire ! »). Le récit prime sur la plausibilité scientifique : ici, le but n'est donc pas de critiquer, mais de profiter des premiers pas accomplis par certains auteurs pour aller plus loin et entrer de plain-pied dans le monde du TAL. Un autre but de cet ouvrage est de montrer en quoi une meilleure connaissance du TAL vous aidera à prendre du recul par rapport à ce que vous lisez et voyez au cinéma, et à développer votre esprit critique face à des notions ambiguës et controversées comme la singularité technologique de Vernor Vinge.

Comme le livre s'intéresse notamment à l'IA parlante, nous commencerons par explorer les facettes de cette discipline, en complément des définitions de cette introduction. C'est le rôle du chapitre 1, qui présentera les principales tâches et idées de l'IA, avec des illustrations issues de la SF.

FRÉDÉRIC LANDRAGIN

Le chapitre 2 fera de même pour le TAL, plus précisément celui concerné par le traitement de l'écrit, en donnant des définitions, des exemples d'applications emblématiques, et en montrant ce que font actuellement la majorité des chercheurs. Ce chapitre nécessite une lecture attentive, mais l'effort fourni vous permettra d'acquérir une bonne connaissance des fondamentaux du TAL — et si la technique vous rebute, n'hésitez pas à le passer. Sa structure reprend les dimensions d'analyse du langage qui font l'objet du chapitre 4 du livre *Comment parler à un alien ?* (cf. note 1). La lecture de ce dernier n'est cependant pas indispensable — juste conseillée !

Le chapitre 3 abordera le TAL du côté de l'oral, en détaillant toutes les difficultés se présentant lorsque l'on cherche à concevoir une machine capable de comprendre la parole. Linguistique et techniques informatiques se confronteront et vous permettront de mieux comprendre les facettes de l'IA reliées au langage.

Il sera alors temps d'explorer la première application historique du TAL, la traduction automatique, que nous avons mentionnée dans cette introduction et dont nous découvrirons l'histoire et les difficultés techniques dans le chapitre 4. Ce sera l'occasion de revenir sur l'apparition de cette application en SF, incarnée parfois sous le nom de traducteur automatique universel.

Nous enchaînerons avec l'application emblématique du TAL et de l'IA qui fait écho au titre du livre : le dialogue humain-machine. Le chapitre 5 sera l'occasion de comparer les réalisations réelles aux mises en scène de la SF, et de mieux comprendre ce que signifie le fameux test de Turing, popularisé en SF entre autres par *Le Problème de Turing* de l'écrivain Harry Harrison (1925-2012) et du chercheur en IA Marvin Minsky (1927-2016).

Nous pourrions alors conclure en spéculant sur l'avenir du TAL et de l'IA parlante en SF.

INTRODUCTION

Maintenant que vous avez lu cette introduction, vous connaissez les notions de base et vous pouvez lire les chapitres dans l'ordre qui vous plaît, chacun d'eux ne s'appuyant que modérément sur le contenu des précédents. Le chapitre 1 et une partie de la conclusion reprennent et mettent largement à jour un article paru dans le numéro 85 de la revue *Bifrost* (2017), de même que le chapitre 4 s'inspire d'un article du *Bifrost* 81 (2016) et le chapitre 5 d'un article du *Bifrost* 76 (2014). Le reste est inédit.

