



VERÓNICA DAHL

Dimensions linguistiques de Prolog : le passé, le futur

Volume 5, n° 2-3 (2024), p. 65-93.

<https://doi.org/10.5802/roia.73>

© Les auteurs, 2024.



Cet article est diffusé sous la licence
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*La Revue Ouverte d'Intelligence Artificielle est membre du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte*
www.centre-mersenne.org
e-ISSN : 2967-9672

Dimensions linguistiques de Prolog : le passé, le futur

Verónica Dahl^a

^a Simon Fraser University Computing Sciences Department 8888 University Road
Burnaby, B.C. (Canada)

E-mail : veronica_dahl@sfu.ca

URL : <https://www.cs.sfu.ca/~veronica>.

RÉSUMÉ. — Cet article examine l'influence durable de la linguistique et des langues naturelles sur Prolog; il analyse l'utilisation de ces outils (ou leur manque d'utilisation) dans l'Intelligence Artificielle de nos jours, en précisant les limites du mot « intelligence » dans ce contexte. Il propose des manières de recentrer l'IA vers un monde plus équitable et respectueux de l'environnement, en nous servant de Prolog comme langage et de la langue naturelle comme baromètre, pour surmonter nos crises écologiques et sociales actuelles.

MOTS-CLÉS. — Programmation logique, IA, linguistique computationnelle.

1. INTRODUCTION

Il y a presque un demi-siècle, j'ai eu l'honneur et surtout l'incroyable chance, d'atterrir dans le labo d'Alain Colmerauer juste quand le Doctorat en Intelligence Artificielle venait d'être approuvé formellement à l'UER Scientifique et Pluridisciplinaire de Luminy, où Alain dirigeait le Groupe d'Intelligence Artificielle. J'ai été la première personne diplômée dans ce programme, dans ce qui était alors l'Université d'Aix-Marseille II, puis Université de la Méditerranée et à présent Aix-Marseille Université.

Cet article, qui fait appel à des souvenirs personnels et scientifiques, est basé sur mon exposé lors de l'hommage à Alain Colmerauer fait à Luminy en 2021.

La section 2 résume les recherches qui, depuis le développement de Prolog, ont solidement construit les bases théoriques et outils computationnels pour pouvoir traiter par la logique la langue naturelle et ses applications informatiques. Elle donne en particulier des détails sur quelques développements pionniers dont l'influence se fait encore sentir de nos jours.

Ces résultats permettent de construire des systèmes informatiques consultables en langue naturelle dont les conclusions sont la conséquence logique des connaissances sur le sujet en question (décrites, elles aussi, en logique), et peuvent donc être examinées et même démontrées valables (ou non), pour expliquer ou justifier comment on arrive logiquement à elles.

La section 3 montre le contraste avec le traitement actuel des langues, où l'objectif n'est pas la justesse, la transparence, la justification, ni – curieusement – la vérité, mais l'imitation aveugle de la *forme* en conformité avec le « Test de Turing » : si un système peut donner, aux humains qui lisent ses conclusions, l'impression d'avoir compris des propos linguistiques pour produire les siens, peu importe que la compréhension lui manque tout à fait : le système compte sur l'intelligence et la compréhension prêtées au lecteur humain, ce qui lui permet de simuler qu'il a bien « compris ». Tant pis s'il y a de temps en temps une faillite manifeste : nos lois n'ont pas rattrapé l'usage, et ne nous protègent pas de robots conversationnels potentiellement nuisibles, surtout quand l'accès à des quantités inouïes de données sur Internet peut permettre d'arriver par de simples lois statistiques, à des résultats spectaculaires.

La section 4 analyse comment arriver à une IA sûre et fiable, en discutant la place privilégiée de la programmation logique à cet égard. La section 5 présente nos conclusions.

2. LA LOGIQUE, OMNIPRÉSENTE

2.1. DEPUIS L'ORIGINE, L'INTERDISCIPLINARITÉ

Le but d'élégance et concision caractérisait la pensée d'Alain, en conjonction avec sa passion pour les langues et pour la logique⁽¹⁾. Passion qu'il a transmise au groupe interdisciplinaire qu'il dirigeait à Luminy. C'est la réunion de toutes ces passions qui enfanta Prolog, issu de la nécessité de pouvoir accéder logiquement, dans n'importe quelle conversation en langue naturelle, aux données du monde dont on parle.

Des travaux préalables tels que [44, 45, 47, 49] et, en particulier, [53, 71] indiquaient déjà la possibilité de faire évoluer la programmation symbolique au delà des fonctions, vers la logique. Inspiré aussi par un travail personnel [17], par des discussions avec Bob Kowalski sur la SL-résolution [53] (qui se prêtait bien pour le backtracking à la Floyd [45]) et par de longues expérimentations avec Philippe Roussel et Jean Trudel sur des méthodes de démonstration de théorèmes, Alain a défini une technique pour codifier des règles de grammaire, connue aujourd'hui comme « listes de différences » (voir 2.3), et il a introduit des paramètres supplémentaires dans les non-terminaux, dont la propagation permettait à l'analyseur, comme avec les systèmes-Q, d'extraire une formule représentant l'information contenue dans une phrase. Le résultat – un système de conversation en français rudimentaire mais suffisamment « humain » pour accepter même des contradictions, en les signalant [15]- contenait déjà les bases des grammaires logiques et de Prolog lui-même. Il ne restait qu'à bâtir des ponts solides entre les deux. Cela a été ma tâche peu après mon arrivée à Luminy.

⁽¹⁾Passions que je partageais moi-même, qui m'ont menée non seulement à des études formelles de linguistique, mais aussi à me former toute seule en logique, car l'expert en logique en Argentine -Gregorio Klimovsky- avait été expulsé de sa Chaire à l'université par les militaires qui se succédaient dans les gouvernements.

2.2. MON RÊVE SCIENTIFIQUE : COMBLER LE FOSSÉ ENTRE LES SCIENCES FORMELLES ET LES SCIENCES HUMAINES

Le rêve de ma vie, celui qui m'avait fait m'inscrire dans deux carrières à la fois à peine sortie de l'école secondaire, a toujours été de contribuer à construire un monde moins dichotomique, plus soucieux de la vie. J'espérais pouvoir bâtir un pont entre les sciences humaines et les sciences formelles, que je voyais comme responsables des violences qui partout niaient notre humanité.

Il me semblait qu'il y avait un décalage entre le pouvoir des technologies développées par les sciences formelles, souvent utilisées pour dominer par la violence, et le pouvoir des sciences humaines pour les mettre réellement au service du vrai pouvoir, c'est-à-dire le pouvoir d'affirmer la vie, de donner et de créer.

Comme point de départ possible pour cette collaboration entre sciences humaines et formelles à laquelle je songeais, j'avais parié sur la linguistique, car elle était la plus formalisée des sciences humaines ; la logique, permettant par exemple de déconstruire des fausses argumentations. Et aussi l'informatique, permettant peut-être d'unir le tout par des simulations exécutables. J'ai donc étudié à la fois la Linguistique à la Faculté des Lettres, et l'Informatique à la Faculté des Sciences Exactes de l'Université de Buenos Aires, ensuite j'ai obtenu une bourse d'études en France, et je suis partie pour Luminy. La conscience de l'avoir échappé belle, unie à l'irrationnelle mais puissante culpabilité du survivant – mon ami d'enfance venait d'être mitraillé à mort, juste devant l'Université, par les forces paramilitaires de l'opération Cóndor, dont les crimes augmentaient de jour en jour – m'ont poussée à chercher des ponts entre notre savoir et notre humanité. Bien entendu, j'ai dû me contenter de quelques petits prix de consolation, pourtant sans jamais perdre cet espoir fou qui traverse encore ma vie.

2.3. LA DÉDUCTION AU CŒUR DU TRAITEMENT DES LANGUES

C'était quand même bien ciblé : quand je suis arrivée à Luminy, Alain venait juste de publier son rapport « Grammaires de Métamorphose » (G.M.) [18] (voir Annexe A pour introduction si besoin), et m'a donné comme première tâche, de les comprendre (plus tard il me confia la traduction de cet article en anglais). Elles traitent des symboles avec des arguments – des termes logiques – unifiables au moment de l'exécution d'une règle. Leur sous-ensemble où un seul symbole est permis à gauche fut baptisé par la suite « Definite Clause Grammars » (DCG) [65] et c'est lui qui fait normalement partie des Prologs courants.

Le formalisme G.M. non-restreint, lui, a fait la fierté du linguiste : en admettant, à la différence de Prolog pur et des DCGs, plus d'un symbole à gauche, il permettait de décrire les contraintes linguistiques de l'époque⁽²⁾ assez directement, grâce à la magie de « terminaliser », de façon invisible pour l'utilisateur, les symboles non-initiaux d'une règle non-régulière de réécriture, pour les cacher à l'intérieur de la liste d'entrée au moment d'ajouter, de façon invisible aussi, les listes de différences qui

⁽²⁾en particulier, celles des théories Chomskyennes.

gèrent l'entrée et la sortie. Ceci permettait de bien traiter par la suite ces règles, tout en restant dans les clauses de Horn, dans lesquelles elles sont traduites automatiquement. Par exemple, alors que la règle indépendante du contexte :

phrase --> **sujet, predicat**.

se traduit automatiquement en clause de Horn par l'ajout de listes de différences simples, comme suit,

phrase(I,0):- **sujet**(I,I1), **predicat**(I1,0).

La règle transformationnelle suivante, qui impose le ré-ordonnement face au marqueur d'inversion par lequel la règle débute :

inversion, sujet, predicat --> **predicat, sujet**.

donne lieu, en « terminalisant » les symboles supernuméraires à gauche, à :

sujet - -> [sujet].

predicat - -> [predicat].

inversion, [sujet,predicat] - -> **predicat, sujet**.

ce qui temporairement convertit les intrus en symboles « terminaux », pour permettre de compiler toujours par liste de différences. Par exemple, la troisième règle ci-haut devient l'instruction Prolog suivante :

inversion(I0,[sujet,predicat|I2]):- **predicat**(I0,I1), **sujet**(I1,I2).

On voit que les intrus se sont faufiletés (synthétisés) dans la chaîne de sortie du symbole initial (qui doit toujours, dans une G.M., être non-terminal), où ils sont maintenant légaux grâce à leur transformation préalable en « terminaux ».

Une fois la règle appliquée, ils redeviennent non-terminaux (en plus de ré-ordonnés). Dans ma thèse j'ai bien exploité cette habileté des G.M. pour capturer en un coup d'œil, en une seule règle, un état complet du parsing, ce qui permet d'exprimer clairement et de façon exécutable des phénomènes linguistiques comme celui de l'inversion sujet-predicat en espagnol, et ses intéressantes interactions avec la négation.

L'effet cascade de cette astuce d'Alain se fait sentir de nos jours, *e.g.* Stuart Russell songe aux listes de différences pour BLOG ["Combining Probabilistic with 1rst o. logic", ICLP 2021]. D'autres développements fondateurs sont décrits dans 2.4.

Différents formalismes spécialisés inspirés par les GM naquirent par la suite, suivant des motivations parfois linguistiques, parfois informatiques [1].

2.4. DE PROLOG AUX BASES RELATIONNELLES DE CONNAISSANCES

Une fois mon cursus fini, Alain m'a proposé d'accepter un contrat du Bureau National de l'Information Scientifique et Technique (BNIST) pour représenter en Prolog les règles de configuration du matériel et du logiciel des systèmes d'ordinateur SOLAR 16,

de façon telle qu'elles soient consultables en français. J'étais plutôt intéressée par les bases de données relationnelles, et je songeais déjà à construire un système permettant de définir des bases relationnelles de connaissances arbitraires, de façon à la fois exécutable et efficace. Je cherchais aussi à les consulter en espagnol plutôt qu'en français. Mais bien sûr, le projet SOLAR-16 m'intriguait aussi énormément, et comme il pouvait constituer un mémoire de DEA, je n'ai pas hésité. En équipe avec Roland Sambuc, Docteur en Médecine qui faisait aussi son DEA avec Alain, et qui venait de passer sa thèse en médecine sur la logique floue pour aider le diagnostic en pathologie thyroïdienne, j'ai développé et testé plusieurs idées dont certaines font partie de Prolog lui-même.

2.4.1. *Premier pas : la configuration automatique*

Alain ayant déjà décrit une grammaire pour un sous-ensemble assez convenable du français, on a décidé de la spécialiser pour notre système SOLAR, ce qui a fixé le formalisme d'entrée du configurateur automatique que l'on devait construire, car l'analyseur d'Alain traduisait du français en formules logiques du premier ordre. En contrepoint avec le développement du configurateur, on a donc **adapté cet analyseur aux questions dans notre domaine**, e.g. « Quel est le prix d'un système qui possède le processeur optionnel MTS05 et le module de mémoire SMX08, et dont la taille de mémoire soit différente de 12K mots ? »

Puis on a implémenté un **démonstrateur des formules logiques du premier ordre** obtenues par l'analyseur, ce qui nous a vite orientés vers la nécessité de planifier l'ordre d'exécution des prédicats issus d'une requête. Par exemple, alors que « Donnez-moi le prix d'un système avec Fortran » est équivalent à « Donnez-moi un système avec Fortran et son prix », la deuxième requête induit un ordre plus convenable, car évidemment il faut d'abord calculer le système voulu et seulement après, son prix. Dans d'autres cas il s'agissait simplement de choisir l'ordre le plus efficace : il fallait réordonner les prédicats pour garantir la vitesse dans la réponse. On avait un problème similaire pour traiter la négation par défaut (où « non vrai » est interprété comme : « non démontrable »), qui nous était nécessaire pour ne pas détailler spécifiquement tout ce qui était faux, mais qui donnait des faux résultats si à son évaluation, une de ses variables n'avait pas encore été instanciée. En simple programmeurs, on pouvait toujours s'arranger pour ne pas faire des appels à la négation sans être sûrs que toutes les variables allaient avoir une valeur connue au moment de l'exécution de ces appels. Mais en méta-programmeurs d'un système dont seule la langue naturelle déterminait l'ordre des sous-formules, on était impuissants pour garantir ceci dans les possibilités alors offertes par Prolog.

Pour résoudre ces problèmes, on a étendu Prolog avec **la capacité de planifier l'exécution des prédicats à résoudre, en les réordonnant en vue de l'efficacité** et, dans quelques cas, en vue de la faisabilité même⁽³⁾. Pour cela on a créé une autre extension meta-logique, « retard/2 », capable d'altérer dynamiquement l'ordre d'exécution

⁽³⁾Ce processus est équivalent à ce qu'on connaît aujourd'hui comme optimisation des requêtes, ou «query optimization»

d'une requête Prolog, en retardant l'exécution de ses prédicats jusqu'à ce que des conditions définies sur eux deviennent vraies. Cette extension, renommée « freeze/2 », fait maintenant partie de tout système Prolog (restreinte à des conditions d'ancrage plutôt qu'arbitraires, et portant sur une seule variable plutôt que sur toutes). Elle y est essentielle non seulement pour améliorer la performance mais aussi pour pouvoir définir des prédicats vraiment réversibles. Elle a inspiré aussi d'autres variantes, telles que « when/2 », qui permet un vaste rang de conditions possibles.

Ensuite on s'est aussi servi de cette extension pour **sécuriser les appels à la négation par défaut** : il a suffi de définir son retard comme zéro si toutes les variables avaient été instanciées, et comme infini (en pratique, un nombre majeur à celui du délai majeur que tout autre ayant été défini dans le système) dans le cas contraire.

En attaquant d'abord la construction des configurateurs automatiques consultables en langue naturelle, on a donc dû développer les outils et stratégies nécessaires pour la construction en Prolog des bases des systèmes de connaissances relationnelles à la fois efficaces, et accessibles grâce à la langue naturelle. Je m'en suis servie moi-même pour ma deuxième étape, les bases de données relationnelles tout court, et plusieurs collègues s'en sont servis, ainsi que de ma thèse 2.4.2, pour les leurs.

D'autres extensions de Prolog qu'on a créées dans cette première étape vers les bases des connaissances relationnelles ont également perduré à travers le temps. Par exemple, pour répondre à des questions de la forme : « (Donnez-moi) un système avec les propriétés P1, P2,... ? » on a dû créer **l'extension métalogue « liste/2 »**, qui calcule dans son premier argument l'ensemble des X satisfaisant la propriété sur X de son deuxième argument. Cette extension fut aussi reprise par Chat-80 sous la dénomination « set_of/3 » (où l'argument supplémentaire explicite le X en dehors de la propriété qu'il doit satisfaire) et fait partie de tout système Prolog aujourd'hui.

2.4.2. Deuxième pas : les bases de données relationnelles

Pour ma thèse, je me tournai enfin vers mon rêve immédiat : le développement d'un système de bases de données relationnelles à application arbitraire, consultable en espagnol. Alain m'a acheté un livre de grammaire de l'espagnol assez complet, et munie de ce livre et de mes expériences récentes, ainsi que de mes connaissances des théories linguistiques transformationnelles, j'ai en parallèle attaqué la grammaire, pour laquelle mon adaptation de celle d'Alain pour SOLAR 16 m'a aussi bien servi, et le système des bases de données, qui m'a – de façon illusoire – paru une tâche plus simple, même si plus générale, que celle du configurateur. Je voulais aussi que mon analyseur résolve des problèmes linguistiques ou informatiques ouverts à l'époque : comment détecter et traiter certaines présuppositions, comment garantir des accords sémantiques de façon efficace, comment résoudre certaines ambiguïtés, comment implémenter des relations portant sur des ensembles.

Il me semblait, à la lumière de l'aventure SOLAR16, qu'il serait possible d'arriver à une formulation à la fois élégante et économique. Je partageais avec Alain, de par mes incursions littéraires aussi bien en lectrice que autrice, l'aspiration et à l'élégance

et à la concision, car le pouvoir de concision me paraissait intimement lié à la beauté d'une phrase, d'un texte. Et les programmes ne sont-ils pas des textes ?

La recherche de la concision, ajoutée aux travaux linguistiques de l'époque qui pointaient vers la possibilité d'éviter deux étapes successives (l'une syntaxique, l'autre sémantique) [52, 56], me décidèrent à continuer sur la voie syntactico-sémantique déjà initiée par mon configurateur.

Mais pour pouvoir bien traiter les traits linguistiques nécessaires à la nouvelle entreprise, il fallait m'éloigner un peu des représentations logiques purement du premier ordre, comme dans le cas de SOLAR16, vers des représentations dont l'exécution puisse plus facilement repérer, par exemple, les conditions d'une présupposition, ou les types de quantificateurs. Il me fallait aussi sortir de la logique binaire, vers une logique à trois valeurs, capable de bien rendre la signification des présuppositions. Les vues de Montague à cet égard nous ont conduits aux quantificateurs à trois branches [19, 62], que j'ai spécialisés pour l'espagnol et pour les besoins de mon système [20].

Le besoin de traiter des ensembles m'a conduit, lui, à adapter la logique à trois valeurs qu'Alain était en train de développer [19]. Celle-ci généralisait, en les unifiant de manière abstraite, mes expérimentations diverses et celles de Bob Pasero, qui à l'époque faisait les siennes avec le français. J'ai complété et spécialisé cette branche vers une logique typée, où les types se représentent soit extensionnellement (à travers des listes) soit de façon intensionnelle (par une version typée de mon extension métalogue liste/2) décrite dans 2.4.1), et où des différentes sortes du pluriel (distributif, collectif et respectif) sont admises et traitées. Je me suis ensuite servie aussi des types : a) pour **résoudre certaines ambiguïtés** à travers le typage contextuel de variables pendant le processus de quantification, b) pour **détecter et rejeter des phrases sémantiquement anormales**, c) pour **tourner plus vite** (car seulement les valeurs associées au domaine d'une variable ont besoin d'être considérées, ce qui réduit l'espace de recherche, car des requêtes absurdes à cause d'incompatibilité des domaines peuvent être rejetées par l'analyseur, en épargnant des accès inutiles à la base de données), d) pour **vérifier que les modificateurs rencontrés sont du type attendu**, e) pour **rejeter des lectures** qui sont syntaxiquement acceptables mais **sémantiquement incorrectes**, et f) pour **créer une deuxième manière de sécuriser la négation par défaut** [24].

La logique typée sous-jacente à mon système, dont la syntaxe sert comme langage de consultation et la sémantique sert comme méthode d'évaluation, s'avéra facilement généralisable ou spécialisable selon les besoins d'autres applications, *e.g.* la robotique [33]. Elle a été immédiatement adaptée par exemple, ainsi que mon système de bases de données relationnelles, par J.F. Pique [16, 66], en conservant ses trois valeurs. Des extensions à la logique à plusieurs valeurs ont été proposées aussi [23].

Le système de bases de données a été décrit dans [20, 21, 26]. L'analyseur fut décrit dans [22, 25]. Les codes complets se trouvent dans [20, 25].

2.4.3. *Quelques répercussions remarquables*

Les méthodologies décrites dans les sections précédentes ont eu une forte répercussion jusqu'à nos jours, non seulement par leur introduction dans Prolog même (*e.g.* **liste (set_of), retard (freeze)** pour sécuriser la négation ou pour coroutiner), mais aussi par leur introduction dans plusieurs systèmes postérieurs, tels que Chat-80⁽⁴⁾.

Au début des années 1980, j'ai accepté une invitation de Michael McCord pour lui rendre visite pendant un semestre. Il avait été attiré par les techniques décrites dans mes publications, et ensemble on les a réutilisées et étendues pour traiter un des problèmes les plus difficiles dans le traitement de la langue naturelle : la coordination. Nos résultats furent publiés à ACL [34] et utilisés plus récemment dans le développement du système Watson [57, 60].

Bien d'autres influences linguistiques ont été intégrées dans Prolog (et ont affecté plusieurs disciplines dans le monde) au fil des années, étendant Prolog en dehors des possibilités de la logique classique. Par exemple, c'est en attaquant avec Paul Tarau des problèmes de raisonnement hypothétique dans le traitement des langues que j'ai inventé un nouveau type de supposition (en anglais, « assumption ») à ajouter aux deux types (linéaire et intuitionniste) déjà présents en Bin Prolog. Ce nouveau type, que j'ai métaprogrammé en quatre clauses décrites dans [38] permet par exemple un traitement très flexible de l'anaphore à l'envers. Je l'ai appelé « atemporel » (timeless), car il peut-être consulté soit avant, soit après avoir été fait. Ensuite Paul l'a inclut « hard-coded » dans BinProlog, d'où les trois types de supposition se sont propagés vers d'autres systèmes Prolog également (*e.g.* CHR, à travers leur version grammaticale, CHRg, [13] ou Hyprolog [14] – un système que j'ai développé avec Henning Christiansen, aussi avec des motivations de traitement linguistique). Ces recherches, reconnues fondamentales, par exemple dans [72], m'ont permis d'obtenir une Chaire d'Excellence de la Communauté Européenne en 2008-2011.

Et c'est de mon travail linguistique avec Philippe Blache, sur une implantation en Prolog du parsing par propriétés [30, 31] que l'idée m'est venue de traiter l'inférence grammaticale par la logique au lieu de la statistique [35], paradigme nouveau qui a été testé expérimentalement pour la langue africaine Yorùbá [2] et la langue mexicaine Ch'ol [28].

À son tour, l'influence de l'alliance « linguistique + Prolog » se fait sentir dans plusieurs domaines. L'exemple le plus étonnant pour moi est à la fois témoin du succès

⁽⁴⁾Ces extensions sont souvent attribuées, par erreur, aux auteurs de Chat-80, car dans leur rapport [76], tout en admettant que leur travail doit beaucoup au mien et à celui d'Alain, seules les techniques de mon analyseur de l'espagnol sont reconnues (« il s'est avéré bien facile d'adapter le programme de Dahl à l'Anglais (et à un domaine différent) »). Mais ils omettent la plupart des références pertinentes ([20, 23, 24, 37] qui ont directement nourri leur système. Il faudrait aussi corriger des fausses représentations de mon travail dans une autre exploitation de mes résultats : [64] contient à la p. 158 les assertions (fausses) que mes systèmes admettaient seulement des questions et non pas des assertions, et qu'ils étaient limités par l'impossibilité de traiter les présuppositions.

Je suis malgré tout reconnaissante à David et Fernando, d'avoir fait connaître mes résultats à un moment où ma situation personnelle ne le permettait pas, et de les avoir inclus dans Prolog lui-même, en commençant par DEC-10 Prolog qui tournait bien plus vite que le système auquel j'ai eu accès à Marseille.

de Prolog même dans son emploi pour prototyper : c'est par des prototypes successifs en Prolog que, en collaboration avec le spécialiste des plantes André Lévesque, son étudiante graduée Wen Chen et mon étudiant gradué, Manuel Zahariev, j'ai développé en 2009 une méthodologie, nommée SIGOLI, pour pouvoir identifier différentes pathologies des plantes par leur signature.

Nos résultats ont réduit ce qui représentait auparavant à Agriculture and AgriFood Canada, un effort de six mois-personne, à seulement 20 minutes en moyenne. Ils y sont toujours utilisés, quotidiennement. SIGOLI a eu un impact majeur pour la découverte de code à barres ADN, ayant été aussi utilisé pour le diagnostic des virus, y compris CORONAVIRUS. Il a servi aussi pour compléter la validation d'un tableau pour toutes les espèces *Phytophthora*, avec application à l'agriculture (car une de ces espèces est l'agent en cause dans la famine de pommes de terre en Irlande); à l'industrie forestière (car une autre espèce est l'agent en cause de la mort soudaine des chênes en Californie, Oregon et certaines parties de l'Europe); aux sciences marines à Hawaii, où il est utilisé pour contrôler la biodiversité dans des récifs de corail (Christopher E. Bird, Hawaii Institute of Marine Biology); à l'entomologie (Alina Cywinska de Brock University l'utilise pour caractériser des mouches mordantes, et Thieman, pour concevoir des tableaux pour les moustiques, c'est mentionné aussi dans un livre sur Génétique Moléculaire des Insectes); et aussi pour détecter des ventes frauduleuses de poisson [48]. Il est en train d'être utilisé extensivement par Agriculture and AgriFood Canada, pour séquencer des spécimens vraiment anciens de leurs collections biologiques, car les solutions vendues par les compagnies ne sont pas suffisantes pour leurs besoins.

Pour l'anecdote, ce projet fit irruption dans ma vie, alors que j'étais complètement ignorante en biologie, d'une manière inattendue : au cours d'une conversation avec le premier guitariste de mon groupe musical (André Lévesque!) à qui j'ai demandé sur quoi il était en train de travailler. Puis en l'écoutant, je me suis mise à écrire sur une serviette en papier pour lui montrer comment je pourrais l'aider. Bien sûr, il nous a fallu travailler un peu plus ... Peu après, j'ai entendu Ross Overbeek dire dans son keynote speech à ICLP Washington que le livre « Logic Grammars" [1] avait été utilisé pour trouver le génome humain, je me suis mise à introduire Prolog dans quelques travaux de biologie moléculaire, avec des étudiants en biologie qui avaient gravité vers mon labo [3, 4, 5].

3. EN CONTRASTE : MODÈLES STATISTIQUES ENTRAÎNÉS SUR LA FORME

Dans le traitement de la langue naturelle actuel, basé sur des modèles de neurones ou GPT-3, tout comme dans l'IA en général, la tendance actuelle est de confondre le consensus avec la vérité. Par exemple, un énoncé donné se verra attribuer une certaine signification sur la seule « preuve » de la similitude de forme vérifiée statistiquement plutôt que sur l'analyse de sa signification. S'ensuit alors une absence de responsabilité : il est impossible d'argumenter, ni même de justifier, la conclusion obtenue uniquement par consensus autour de la forme [7]. D'autres conséquences indésirables sont :

- des exclusions injustes, par exemple la décision d’entraîner la reconnaissance de visage seulement sur un corpus d’images qui inclue seulement des blancs résulte souvent dans l’absence totale de reconnaissance pour d’autres races, mais de façon encore plus nuisible, dans la confusion entre personnes, ce qui peut entraîner des graves conséquences.
- des propos ou actions violentes, par exemple lorsque les données d’entraînement contiennent des biais qui s’infiltreront sans être détectés dans une réponse, il se peut qu’une femme ou une personne noire subisse une forme de violence financière en se voyant refuser sans cause le crédit demandé [8, 10]. La violence de genre est aussi facilitée et amplifiée par l’I.A. generative insuffisamment régulée [12];
- des spéculations trompeuses, puisque elle opère dans nos structures sociales existantes déjà injustes s’appuyant plutôt sur des corrélations [61]. Autrement dit, nos structures sociales déterminent qui crée les contenus sur lesquels les IA modernes vont chercher leurs données; dans quelle perspective et avec quel manque de perspective? qui déploie ces IAs? dans l’intérêt de qui? à qui ces systèmes bénéficient-ils? à qui, et comment, peuvent-ils nuire?

L’on pourrait considérer ces modèles comme puisant dans une sorte d’intelligence collective, du fait qu’ils consultent les écrits d’une vaste quantité d’auteurs humains pour essayer d’y trouver par manipulation une sorte de consensus. Mais en fait l’intelligence collective humaine est toute autre chose. Notamment, elle dépend non du niveau d’intelligence des individus dans un groupe, mais de l’égalité avec laquelle les divers membres de la société sont représentés et collaborent [70]. La consultation que font les I.A. des documents internet va, par contre, dans l’autre direction, par exemple les hommes sont largement sur-représentés comme auteurs sur wikipedia, sur les réseaux sociaux, etc.

En tout cas, l’astuce principale de ces modèles est, en plus de se servir de l’intelligence des créateurs du contenu trouvé sur l’internet, de compter sur l’intelligence apportée par un lecteur ou lectrice humaine pour compléter la signification d’une phrase. Mais il a été démontré [7] et exemplifié [59] que les modèles traités seulement sur leur forme ne peuvent jamais contenir la signification, et qu’ils exposent à de graves dangers [8]. En particulier, quand les textes humains qui les nourrissent ont du sens et respectent certaines logiques, ils peuvent donner des résultats qui seront indûment attribués au modèle lui-même : il aura l’air de raisonner correctement par lui-même, ce qui lui prêterait une fiabilité dangereuse. La confiance en ses résultats et son pouvoir de « raisonnement » s’étendra facilement aux conclusions fausses, avec des effets dévastateurs. Il y a aussi des analyses sur le fait que le lecteur est un interpréteur sous-entendu, ce qui change les règles du jeu du langage. [75].

L’implacable règle GIGO (Garbage In, Garbage Out) qui gouverne la fiabilité de nos systèmes d’informatique en général s’applique particulièrement bien aux modèles basés sur la statistique : puisqu’ils puisent dans des sphères informationnelles sans vérification de qualité – celles obtenues sur l’internet, où se trouvent par exemple des propos néonazis, violents, misogynes, racistes, haineux – les résultats obtenus par des

systèmes tels que la famille Chat-GPT, par exemple, incluent des contenus qui le sont aussi bien. Ceci pose, en fait, un danger existentiel pour les populations et groupes défavorisés. L'on reviendra sur ce point dans 4.5.

À ces problèmes s'ajoute, bien entendu, le coût environnemental prohibitif des systèmes basés sur Big Data. Par exemple, l'entraînement d'un modèle neuronal de traitement de langue naturelle émet 5 fois la quantité de CO₂ émis par une voiture dans la totalité de sa vie⁽⁵⁾. L'Intelligence Artificielle ajoute énormément à l'empreinte carbone produite par les systèmes informatiques (de la manufacture électronique, à l'électricité, climatisation, transport, recyclage, déforestation, contamination toxique des terres et de l'eau pour extraire des métaux rares).

4. VERS UNE IA SÛRE, FIABLE... POUR UN MONDE SÛR ET FIABLE

Dans un tel contexte scientifique et social, les demandes sont nombreuses pour construire une Intelligence Artificielle sûre et fiable.

Par exemple, Geoffrey Hinton a récemment quitté Google à cause des problèmes d'utilisation qu'il voyait dans l'IA, notamment : la discrimination, les armes létales autonomes, le chômage, les « echo chambers », le risque existentiel, les « fake news ». Une pétition récente, signée par beaucoup de spécialistes en IA, demande d'arrêter temporairement le développement de systèmes potentiellement nuisibles, jusqu'à ce que nos lois aient suffisamment évolué pour nous protéger.

Mais est-ce que l'on est vraiment en risque existentiel ? Il y a un consensus grandissant de la part des experts (des rapports des Nations Unies, d'experts de sciences de la terre, biologistes, etc.) sur le fait qu'il existe un grave risque, à cause des crises écologiques et sociales croissantes avec un effet domino.

Si l'on est d'accord sur ce fait, alors la sécurité devient un but (prioritaire !), et le deviennent aussi les facteurs qui rendent possible cette sécurité : d'une part l'accès à l'eau, la nourriture, la santé, l'éducation, l'égalité... (bref, la satisfaction des droits humains identifiés par l'ONU⁽⁶⁾); et d'autre part, le renversement du changement climatique, de l'acidification des océans, de la pollution chimique, de la perte de biodiversité, de la conversion des terres, ... (bref, le respect universel des limites écologiques identifiées par les scientifiques de la terre [73]).

Mais plus précisément, y a-t-il un danger existentiel *qui provienne de l'Intelligence Artificielle* elle-même ?

Pour répondre à cette question, il faut d'abord distinguer l'IA symbolique, basée sur la logique, de l'IA sub-symbolique, basée sur Big Data et les statistiques. C'est cette dernière qui, comme esquissé déjà en Section 3, ne peut pas devenir, à elle seule, fiable et sûre : il lui faut du moins des méthodes formelles de vérification, en complément.

⁽⁵⁾Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP, E. Strubell *et al.*, arXiv:1906.02243.

⁽⁶⁾<https://www.un.org/fr/universal-declaration-human-rights/index.html>.

Ensuite, il faut mieux définir de quel risque existentiel on parle. Le risque existentiel, qui est le plus souvent propagé par les media, concerne des scénarios d'un futur où nos intelligences artificielles statistiques développeraient une hyper-intelligence dystopique et nous asserviraient. Or cette situation est fort improbable dans les paramètres de l'IA moderne, largement limitée à des systèmes statistiques ayant accès seulement à la forme avec des quantités de données formidables. Pour eux, les risques principaux, loin d'être dans le futur, sont déjà là, et ne proviennent pas d'une "intelligence" qu'ils ne possèdent pas – et qui comme on l'a vu, confondent forme avec contenu, opinion avec donnée fiable, et consensus avec vérité – mais surtout de la façon dont elle est mise au service des détenteurs du pouvoir économique ou politique.

En effet, il est évident que **l'IA telle que conçue et déployée aujourd'hui pose déjà des risques existentiels surtout pour les populations défavorisées**- non pas juste dans des futurs hypothétiques, mais aujourd'hui même. Le rapport des Nations Unies de 2021, par exemple, identifie que l'IA compromet les droits humains au sujet de la vie privée, la santé, l'éducation, la liberté de mouvement, de réunion pacifique et d'association, et la liberté d'expression⁽⁷⁾. Ceci pénalise gravement les populations défavorisées, dont le nombre ne cesse de croître avec les catastrophes écologiques et sociales.

Il faut pourtant souligner que l'IA elle-même, en tant qu'outil, ne pose aucun risque existentiel. **Bien utilisée, elle pourrait même améliorer nos possibilités** de survie et de respect des droits humains dans les limites de la planète. **Si elle pose des dangers, c'est à cause du fait qu'elle est souvent :**

- **Représentée comme intelligente**, quand en réalité, comme on l'a vu, elle est à peine plus qu'une manipulation statistique des formes sur d'énormes quantités de données assez arbitraires. Quand ces méthodes échouent, une armée de travailleurs fantômes précarisés sauvent la situation, dans les coulisses, grâce à leur intelligence naturelle [46]. Quand même cela échoue, les succès (ou succès apparents) préalables prêtent une véracité dangereuse à des résultats faux.
- **Contrôlée** : par une poignée de corporations, dont le but est leur propre profit et leur croissance. Elles seules possèdent les ressources pour créer ces systèmes d'I.A. à grande échelle, ayant capturé pour leur seul bénéfice les immenses données engendrées gratuitement par le public, souvent sans leur consentement. Même les universités et centres de recherche qui ont créé l'IA -oh ironie- ne peuvent pas se permettre le coût de recueillir et traiter les immenses quantités de données nécessaires pour ces systèmes [78].
- **Utilisée** : pour surveiller, exploiter ou contrôler des citoyens, pour disséminer « fake news », pour « nudging », pour déterminer le flux informationnel, pour manipuler l'opinion publique, pour saper le journalisme indépendant, pour polluer nos écosystèmes et même pour détourner nos démocraties [69].
- **Tolérée dans sa destruction environnementale** (e.g. énorme empreinte écologique, pas comptabilisé ni limitée)

⁽⁷⁾<https://news.un.org/fr/story/2021/09/1103762>.

4.1. LA PROGRAMMATION LOGIQUE AU SECOURS DE LA TECHNOLOGIQUE

Dans ce contexte, la programmation logique est crucialement nécessaire comme outil pour la fiabilité et la sécurité, car elle nous permet d'examiner le sens des énoncés (linguistiques ou autres) de manière vérifiable, explicable et démontrable. Pour ce faire, elle représente les connaissances sous une forme (basée sur la logique) qui peut être lue par les humains après une brève formation. Elle peut aussi être exécutée par des démonstrateurs de théorèmes dont le raisonnement peut également être examiné et suivi par les humains, ce qui favorise la transparence, la responsabilité et la confiance (cette fois justifiée) dans les résultats. Les biais et les spéculations d'exploitation peuvent toujours être présents, puisqu'il est facile d'omettre, même par inadvertance, les points de vue des sous-représentés. Mais dans des programmes logiques, ces problèmes peuvent être repérés plutôt que de se faufiler non détectés par le biais d'algorithmes inexplicables.

Tout au moins, la programmation logique peut servir pour unifier, intégrer ou combiner les approches symboliques et sous-symboliques de l'IA, pour faire avancer l'état de l'art vers une direction plus fiable et sûre. C'est le cas par exemple dans des initiatives neuro-symboliques⁽⁸⁾ [39, 58, 67, 74] où la programmation logique et les réseaux de neurones se combinent ou s'intègrent de façons différentes dans le but de procurer des systèmes plus généralement intelligents, capables de coupler les capacités inférentielles de la programmation logique avec les capacités de pattern-matching flexibles des réseaux de neurones.

Cependant, les solutions purement technologiques, bien que nécessaires, ne suffiront pas en elles mêmes (ni même avec l'appui d'un outil aussi puissant que Prolog) à nous sortir des risques existentiels posés par nos choix technologiques et autres, qui sont déterminés à leur tour par l'organisation sociale dans laquelle nous nous trouvons ; il nous faudra aussi une évolution radicale et très rapide pour sortir de l'anthropocène (ou, plus précisément, de l'androcène [9]) en réalisant une stabilité sociale et écologique digne de l'abondance qui nous entoure et de la paix que l'égalité pourrait nous assurer⁽⁹⁾. Nous reviendrons sur ce sujet après un court rappel historique.

4.2. LE DÉTOUR HISTORIQUE VERS DES TECHNOLOGIES DE DESTRUCTION

Au fil des années, mon rêve initial – de bâtir un pont entre les sciences humaines et formelles – s'est révélé fondé sur deux fausses suppositions : que cet écart était significatif, et qu'il était dû à un décalage entre développement émotionnel et technologique.

Mes années de recherche et de vie m'ont démontré qu'en fait, dans les sociétés inégalitaires les buts technologiques sont souvent choisis par les détenteurs du pouvoir : ce qu'ils choisiront, soit le partenariat égalitaire, soit la domination, est ce qui les orientera vers des technologies de production pour partager, ou de destruction, pour dominer.

⁽⁸⁾<https://arxiv.org/abs/2306.14077v1>.

⁽⁹⁾<https://www.onufemmes.fr/nos-actualites/2020/9/28/pourquoi-est-il-crucial-dinclure-les-femmes-dans-les-processus-de-paix>.

En effet, des recherches historiques et archéologiques modernes ont établi le point d'inflexion civilisationnel (le passage des sociétés de partage équitatif aux sociétés de domination) comme datant seulement d'il y a environ sept mille ans, quand des bandes nomades qui parcouraient les zones périphériques moins désirables du globe ont commencé à perturber les anciennes cultures néolithiques du Proche Orient, qui vivaient alors dans des partenariats largement égaux et pacifiques.

Ces envahisseurs, issus de cultures différentes, avaient pourtant en commun un système d'organisation sociale autoritaire et hiérarchique, gouverné par des prêtres et des guerriers puissants, dans lequel la dominance et la violence mâle étaient la norme. Ils imposèrent leur mœurs et leur idéologie aux sociétés agricoles millénaires envahies, de façon graduelle mais inexorable, durant plus de 1500 ans, grâce à la guerre et autres formes de violence sociale y compris culturelle, comme attesté par l'Oresteia. Ils remplacèrent même la Déesse de la vie, qui était vénérée par les peuples soumis, par un Dieu mâle et vengeur, et réduisirent les femmes – et par conséquent, leurs enfants mâles ou femelles – en simple propriété des hommes [42]. Significativement, ils développèrent des technologies de *destruction* pour dominer, contrairement aux peuples conquis, dont les technologies visaient la *production* pour partager. Un privilège qui s'étend jusqu'à nos jours, où les buts du développement durable sont sacrifiés et re-sacrifiés au profit des technologies de destruction, qui surpassent pourtant déjà, de loin, ce qui suffirait pour nous tuer tous plusieurs fois⁽¹⁰⁾.

Cet ordre violemment imposé il y a des millénaires⁽¹¹⁾ et ré-imposé maintes fois à chaque essai de retour au partenariat égalitaire⁽¹²⁾, « continue d'influencer nos croyances, nos comportements et notre cerveau, menaçant même notre survie » [43]. La suprématie masculine qui le caractérise est devenue systémique, et forme la base de toute autre domination, car en l'acceptant inconsciemment depuis l'enfance (à cet âge l'habileté critique n'est pas encore développée) la voie est tracée pour l'acceptation facile de toute autre domination. Il serait incohérent d'en accepter une et pas d'autres, surtout quand inconsciemment, même les dominé(e)s sont amenés soit à croire qu'ils profitent quand même du statu-quo, soit à intérioriser leur propre « infériorité » – un phénomène à l'origine de l'endosexisme, endoracisme, etc. Se répand ainsi la misère de tout type (financière, patrimoniale, éducative, sanitaire, sécuritaire ...), même si réservée plus fréquemment aux femmes (et pour cette raison, on les mentionnera davantage dans le reste de cet article, en sachant bien sûr que nos remarques s'appliquent aussi bien à d'autres groupes minorités ou négativement discriminés), en même temps

⁽¹⁰⁾https://demilitarization.net/nidocs/NI_millex_Counter_2020.html.

⁽¹¹⁾L'origine exacte de l'hégémonie masculine est encore en discussion : certains auteurs l'attribuent à la division selon genre du travail social payé, non-payé et sous-payé, ou à la naissance de la propriété privée, qui entraîna la défaite de l'héritage matriarcal. Mais où qu'il se situe, les conséquences ici esquissées sont les mêmes.

⁽¹²⁾Même dans des mouvements libérateurs, comme la Révolution Française ou l'anticolonialisme algérien, les hommes en charge ont souvent vite remis leurs collaboratrices « à leur place » après la victoire, comme tristement attesté par le guillotinement d'Olympe De Gouges, qui voulait remplacer la « fraternité » excluant de la post-révolution par la *solidarité en pleine égalité*.

que s'intensifie l'exploitation de la planète, qui a déjà dépassé six des neuf limites que l'humanité doit respecter pour la garder habitable⁽¹³⁾.

4.3. LA PROGRAMMATION LOGIQUE AU SECOURS DE LA SOCIÉTÉ

Le potentiel de la programmation logique (et de Prolog) pour nous aider à sortir d'une telle malédiction est, à mon avis, considérable, grâce à son pouvoir de matérialiser des inférences correctes :

- Elle peut être l'alliée des efforts contemporains pour changer le but (irréalisable et pourtant poursuivi avec un entêtement incroyable [50, 68]) de nos systèmes économiques, qui est de « croître » indéfiniment dans une planète finie, avec une « croissance » qui est celle des profits et du pouvoir d'accumulation des élites. Le nouveau projet, selon l'économiste Kate Raworth, doit être celui de subvenir aux besoins de chacun, dans le respect des limites planétaires [68]. Ce but est clairement identifié dans son travail, par des figures (voir Appendice B) qui montrent où nous en sommes par rapport aux droits humains et aux droits de la terre, et où nous devons aller pour éviter l'extinction du monde vivant (y compris nous). Doughnut Economics a été adopté officiellement comme projet par plusieurs villes, telles que Nanaimo, Bruxelles, Portland, Amsterdam, Copenhague, Philadelphia. L'adoption du même projet pour les technologies numériques pourrait favoriser le développement de programmes logiques efficaces.
- Elle peut favoriser le développement de techniques alternatives plus fiables, moins précaires et en particulier, moins destructives de la planète que celles du Big Statistics + Big Data. Par exemple, alors que l'induction de grammaires est dominée par la statistique, des méthodes alternatives et durables basées sur l'inférence logique se sont avérées faisables [35], avec des applications démontrées pour la langue africaine Yorùbá [2] et pour le Ch'ol au Mexique [28].
- Elle peut jouer un rôle fondamental dans l'éducation, permettant d'améliorer l'intelligence des élèves, d'éduquer les humains au lieu de les remplacer, d'enseigner comment raisonner, comment détecter des failles de raisonnement, comment poser les questions pertinentes (qui ? comment ? pour qui ? pourquoi ? pour le bénéfice de qui ? en dommage de qui ou quoi ? ...), et comment alerter sur l'effet GIGO, pour pouvoir demander un contrôle de qualité sur les données et sur les algorithmes. Chaque opportunité devrait être saisie d'explicitier le contexte pour informer de façon fiable : par exemple, des bases de données simples autour de la sécurité peuvent remplacer les bases de données par lesquelles on introduit Prolog d'habitude.

⁽¹³⁾<https://fr.mongabay.com/2021/07/les-neuf-limites-que-lhumanite-doit-respecter-pour-garder-la-planete-habitable/>; actualisation en 2023 : <https://www.stockholmresilience.org/5.3d04209a18a2642b2fc162a3.html>.

- Elle se prête bien en particulier pour les explications et les interfaces avec la langue naturelle ou langue naturelle contrôlée, ce qui favorise son utilisation par des humains (voir par exemple [32, 54]).

4.4. COMMENT MESURER NOTRE PROGRÈS ? LA LINGUISTIQUE, ENCORE COMME SECOURS

Les données de bien être social et écologique développées par Kate Raworth [68] peuvent nous servir pour évaluer dans chaque région et dans le monde, nos progrès à *un moment précis*, si l'on dispose de données fiables et assez complètes. Par exemple, les données sur la parité de représentation dans toute position de pouvoir et prise de décisions, ou sur le partage équitatif des fortunes et de l'administration publique, seraient utiles pour bien mesurer l'égalité, une des variables du Doughnut.

Mais ces baromètres peuvent s'avérer fragiles dans un monde où les progrès apparaissent souvent temporairement au lieu de se solidifier, pour que tout revienne, finalement, à la même norme. Qui aurait dit, par exemple, qu'en plein XXI^e siècle l'on verrait la recrudescence des assassinats « domestiques »⁽¹⁴⁾ et des « sorcières »⁽¹⁵⁾, celle de l'interdiction d'étudier ou de circuler librement⁽¹⁶⁾ ou la disparition du droit à l'avortement⁽¹⁷⁾ ? – tous des phénomènes de domination systémique qui ne mobilisent pas l'opinion ni l'action internationale.

Un prédicteur plus fiable pour évaluer *la durabilité* des acquis est d'évaluer *combien la langue exprime encore la domination, versus la solidarité en partage équitable*.

En effet, que ce soit par évolution spontanée, ou forcée par des détenteurs de pouvoir tels que les académiciens des langues, la langue change selon les mœurs, qu'elle exprime et impose. Nos langues en ce moment historique codifient la domination de façon très efficace, par leur influence sur notre inconscient collectif et personnel. Par exemple, l'exclusion est codifiée dans le commandement linguistique de considérer le masculin comme universel ; la misogynie est codifiée dans les insultes genrées ; la normalisation des « violences faites aux les femmes » est codifiée dans cette phrase même, qui en ne faisant pas allusion aux auteurs de ces crimes, les rendent invisibles et irresponsables, dans nos lois, nos systèmes judiciaires, nos manifestations culturelles. La persistance du mot « sorcière » dans des usages banalisés (sinon encore meurtriers, y compris de nos jours [6]) perpétue très efficacement dans notre inconscient collectif la perception des femmes comme en dehors de l'humanité, en les présentant encore, par des contes et d'autres manifestations culturelles, comme susceptibles de pouvoirs surhumains maléfiques. Ainsi se cache la vraie signification de ce mot, à savoir : calomnie systématique des femmes plus indépendantes que ce qui était toléré par l'hégémonie masculine de leur époque, ayant « justifié » le génocide le plus étendu,

⁽¹⁴⁾<https://www.lapresse.ca/actualites/2022-10-20/les-cas-declares-de-violence-conjugale-encore-en-hausse.php>.

⁽¹⁵⁾<https://www.nationalgeographic.fr/voyage/2020/10/les-sorcières-existent-bel-et-bien-et-depuis-des-siècles-elles-sont-persecutees>.

⁽¹⁶⁾<https://news.un.org/fr/story/2022/12/1130807>.

⁽¹⁷⁾<https://news.un.org/fr/story/2022/06/1122522>.

persistant et négligé de l'histoire. Même les contes pour enfants (même s'ils traitent le sujet de façon « comique ») continuent de nous endoctriner contre les femmes indépendantes, en « alertant » nos enfants contre les « sorcières » plutôt que contre les dangers réels qu'ils courent [41].

Donc, tant que la langue ne reflète pas les acquis sociaux au niveau institutionnel et personnel, elle continuera de propager l'inégalité de la façon la plus puissante : par l'inconscient. Il est important de noter aussi que sous les indéniables privilèges que la misogynie réserve à l'homme se cache la terrible misandrie de lui imposer un stéréotype toxique et violent (allant jusqu'à la mort, en tant que cadavre gratuit pour les états en guerre) comme condition de ce privilège qu'il a hérité. La misogynie est ainsi, aussi misandrie, homophobie, misanthropie. Elle nous deshumanise universellement et nous domine tous en nous divisant, laissant 1% de l'humanité comme vrai bénéficiaire.

4.5. COMMENT ASSURER NOTRE PROGRÈS ?

Il y a beaucoup de recherche actuellement sur l'IA responsable, éthique, juste. Elle suscite un intérêt énorme, tant de la part du public (en termes de protections, « bons » usages, etc.) que du secteur privé (sur l'application des « solutions » techniques à des problèmes sociaux, ou sur la façon de contourner les règlements)

Mais peut-elle nous aider vraiment dans nos risques existentiels ? Pas tellement pour trois raisons :

- (1) Souvent, elle détourne en fait notre attention de ces risques, en *brouillant la distinction entre outil et acteur*. Au lieu d'exiger qu'elle soit développée et déployée comme un outil utile pour tous, cette forme d'IA néglige ses acteurs humains, en prétendant que c'est la discipline elle-même qui manque d'éthique. Certains de ces acteurs méconnaissent ou réalisent trop tard les dégâts potentiels de certaines IA, avec des conséquences dévastatrices déjà mentionnées. D'autres les connaissent bien mais en profitent quand même, tant que les lois n'ont pas eu le temps de s'y adapter pour les en empêcher. Bien sûr, d'autres considèrent simplement que les bénéfices de l'IA peuvent justifier ses effets néfastes. Mais dans tous les cas, la responsabilité est attribuée par un curieux effet de personnification, non pas aux acteurs qui développent et déploient l'IA, mais à l'outil : la responsable est l'IA elle-même et non pas la poignée de compagnies ou autres acteurs qui la contrôlent !
- (2) *Son but n'est pas de nous aider dans nos crises existentielles réelles*. Une étude de 2019 [51] a déterminé la fréquence d'apparition de certains mots-clés dans la littérature sur l'IA dite éthique ou responsable. Ces fréquences sont montrées dans la Figure 4.1, où l'on voit que cette littérature s'occupe très peu de la durabilité (16 %) ou de la solidarité (7 %), pourtant cruciales pour la continuation même de la vie.
- (3) Pire encore, elle semble *aveugle aux dangers existentiels que son déploiement actuel pose pour les populations défavorisées* (par exemple, criminalisation et même mort par confusion d'identité; négation d'un prêt crucial à cause

du biais de la race ou du genre exercé par une IA incapable de se justifier ; impossibilité d'accéder aux services indispensables autrefois gérés par des humains, à cause à la fois du manque de familiarité avec les ordinateurs et d'incompétence des chatbots qui sont censés remplacer ces humains ; torture systématique des travailleurs précarisés obligés de détecter, pour deux dollars l'heure, des contenus traumatisants qui se trouvent sur l'internet⁽¹⁸⁾. Même les experts qui critiquent le déploiement des IA, et demandent l'arrêt de certaines de ses recherches, détournent notre attention des problèmes existentiels qui affectent déjà les personnes défavorisées. Ceci est encore un exemple de l'anonymisation des vrais responsables, en «humanisant» l'IA elle-même, car en fait, ceux qui peuvent nous asservir ne sont pas les machines, ni les AI programmées, mais les humains typiquement privilégiés qui décident quoi implémenter, comment, pourquoi, pour qui, et dans quel but, ainsi que ceux – privilégiés eux aussi- qui déploient ces technologies les imposant au public sans consultation, ni recours possible, ni évaluation des conséquences. Ce détournement de focus fait partie des logiques de domination imposées contre nos capacités naturelles de raisonner, mais par ce fait même nous indique la solution : il est impératif de démocratiser la capacité de raisonnement et de protection par la logique face au manque de logique qui nous est de plus en plus imposé par les nouvelles techniques d'IA. Et ici, décidément, Prolog a un rôle important à jouer en particulier dans l'enseignement à tous les niveaux en commençant par l'école primaire [11].

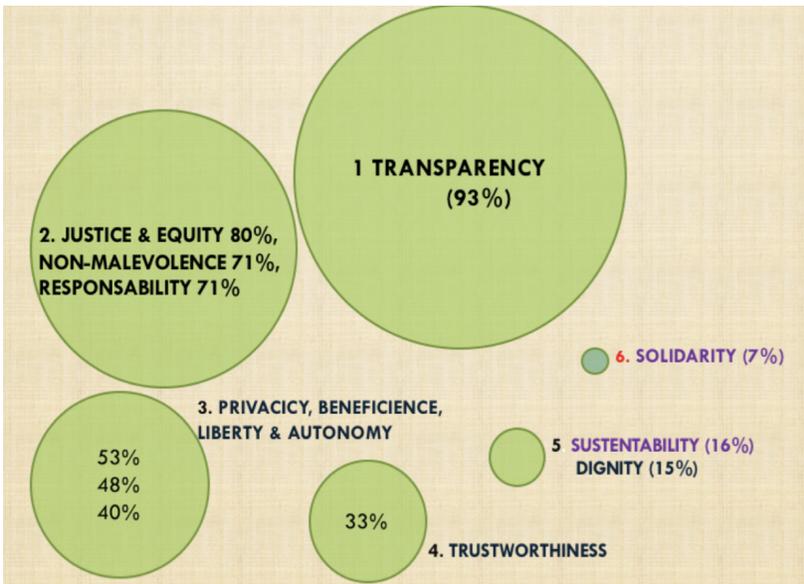


FIGURE 4.1. Thèmes dont s'occupe l'IA dite Responsable ou Éthique

⁽¹⁸⁾<https://time.com/6247678/openai-chatgpt-kenya-workers/>.

En tout cas, il est clair que la discipline qui s'occupe d'éthique en IA oublie les mécanismes qui permettraient de la renforcer.

J'aimerais donc mieux parler des **projets de IA régénératifs et redistributifs**. Il s'agit de projets interdisciplinaires (scientifico-sociaux) de développement, législation et réorientation de l'IA pour garantir les droits humains et planétaires. Par exemple, **des projets sociaux et lois en appui des droits humains** (aidant à redistribuer équitablement l'eau, l'énergie, les aliments, etc.) et **des projets scientifiques et lois pour reconstituer le pouvoir régénératif de la terre** (arrêter le réchauffement climatique, restaurer la couche d'ozone, de-acidifier les océans, arrêter la contamination chimique, etc.). Même dans nos pratiques individuelles, on peut utiliser l'IA pour calculer et évaluer des solutions. Par exemple, face à l'énorme empreinte carbone des ordinateurs en général et de l'IA en particulier, l'on peut se tourner vers l'IA logique, qui consomme bien moins que l'IA statistique, en plus de prendre l'habitude de calculer les empreintes (carbone et autres) des systèmes d'apprentissage avant de les développer.

Quelles seraient les relations de cette nouvelle branche de l'IA avec ses autres branches ? On peut dégager une classification utile grâce aux thèmes dont s'occupent les différents types d'IA [51] : 1) transparence (explicabilité, interprétabilité) ; 2) protection sociale (justice et équité, liberté et autonomie, dignité) ; 3) responsabilité (de quoi ? de qui ? envers qui ? comment ?) ; 4) fiabilité (de données, de programmes) ; 5) durabilité ; 6) solidarité.

En gardant la même personnification de l'IA, pour mieux la comparer, on peut parler grosso modo de quatre types d'IA, selon les buts explicites ou implicites des humains qui les conçoivent :

- l'intelligence artificielle « neutre », ou traditionnelle : vise principalement à simuler l'intelligence humaine.
- l'intelligence artificielle *éthique* (ou responsable, ou morale, etc.) : elle met l'emphase sur les thèmes 1) à 4) énumérés plus haut.
- l'intelligence artificielle *régénérative*, qui met l'accent sur la durabilité.
- l'intelligence artificielle *redistributive*, qui met l'accent sur la solidarité.

Bien entendu, il y a chevauchement entre ces catégories, qui peut être visualisé grosso modo par la figure 4.2.

C'est en ciblant des projets redistributifs et régénératifs – comme on devrait le faire, à moins d'être inconscients ou suicidaires, vus les défis existentiels de notre époque – que l'on peut mieux apprécier comment les techniques inférentielles s'avèrent indispensables : ce n'est pas en manipulant les formes de milliards de textes humains, même s'ils avaient tous du sens, que l'on pourrait mieux imaginer un bon futur.

Le besoin le plus urgent est de créer des plateformes de données et de connaissances vérifiables, fiables, et accessibles comme bien commun inaliénable ; ainsi que des programmes inférentiels nécessaires à la conception et implantation d'un futur juste. Ces plateformes de données et de programmes doivent pouvoir opérer top-down en consortium international, ainsi que bottom-up, municipalité par municipalité, province

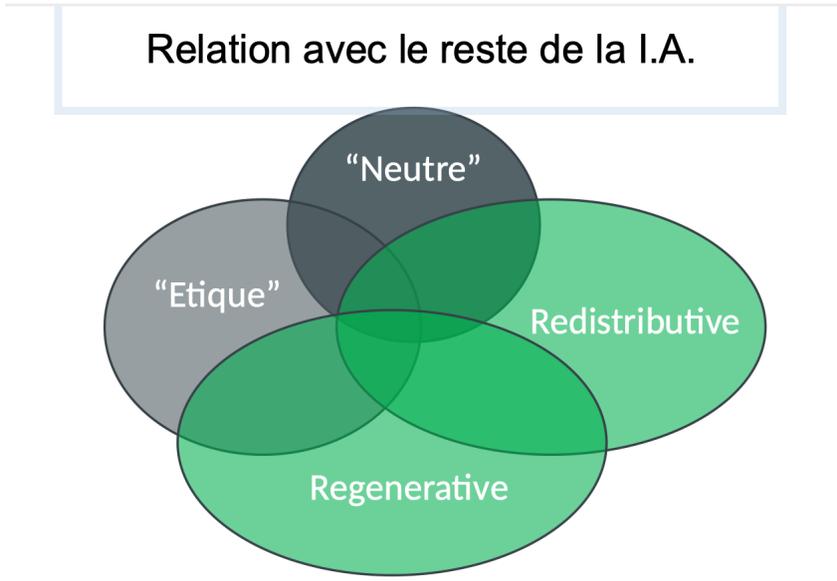


FIGURE 4.2. En vert : notre but, des projets d’IA régénératifs et redistributifs

par province, région par région. À mon avis, il faut les orienter autour du traitement inférentiel des données et programmes, du Doughnut économique, de l’informatique féministe inclusive [40], de la décroissance [50] et du bioculturalisme [43], avec comme baromètres, l’étude des tromperies linguistiques oppressives, ainsi que la distance entre le Doughnut au présent et celui ciblé. L’Appendice B montre cette distance visuellement, pour les données du monde entier.

5. CONCLUSION, DISCUSSION

Dans cet article, on a rappelé l’importance de la linguistique et des langues naturelles dans le parcours qui conduisit à Prolog et à ses applications et ramifications. Plus de détails sur le passé peuvent être consultés par exemple dans [55].

On a aussi re-évalué la notion « d’intelligence » des systèmes considérés aujourd’hui comme d’I.A., en alertant sur leurs dangers, moins connus et discutés que leurs succès ; et on a proposé de nous servir de Prolog, de la linguistique et de l’analyse de la langue pour surmonter aussi bien les problèmes techniques que les dangers, posés soit par les défauts des technologies elles mêmes, soit par les crises écologiques et sociales du moment historique que l’on vit. Il est intéressant de noter ici que l’importance de la logique et de la langue, à laquelle on revient dans cet article pour l’IA, avait déjà été pressentie par Ada Lovelace au XIX^e siècle, pour un ancêtre de l’ordinateur (la machine analytique de Charles Babbage). Alors que son créateur même considérait cette machine comme seulement capable de calculs numériques, Ada Lovelace, reconnue comme la première programmeuse du monde, a été aussi la

première à voir et à décrire les possibilités de calcul *symbolique* de ces machines-possibilités qui font encore la base de la programmation logique et de Prolog. Elle est donc la pionnière de la programmation symbolique.

Finalement, on a démontré qu'il fallait orienter l'IA vers le but primordial (défini par K. Raworth et déjà adopté dans d'autres disciplines et par plusieurs villes) de subvenir aux besoins de chacun en respectant les moyens de la planète. On propose que pour cela, il soit nécessaire de faire évoluer nos sociétés bien au delà des tendances de *domination* qu'elles ont pris depuis des siècles⁽¹⁹⁾. Il faut à leur place construire des sociétés orientées vers la *solidarité*⁽²⁰⁾. On propose aussi que pour effectuer ce changement, il nous faut des outils informatiques capables de raisonnement formel vérifiable, explicable, transparent, en un mot, il nous faut Prolog. Un volume récent [77] qui imagine le potentiel et l'évolution de Prolog dans les 50 prochaines années, donne des exemples de son utilisation pour une économie du bien-être (pages 161 à 163).

Évidemment le but est ambitieux, mais à mon avis incontournable. Même si on avait déjà les outils informatiques parfaits pour atteindre ce but, ils ne pourraient pas faire grand chose en l'absence d'actions concertées mondialement pour les appliquer. Selon moi, il faut essayer de notre mieux : il est encore temps – mais pas pour longtemps – d'éviter notre propre extinction. Par exemple, la contamination définitive des eaux potables, détectée dans certaines villes comme celle de Rumilly, en France n'a pas encore envahi le globe entier⁽²¹⁾. On peut encore agir.

En récupérant les données et les algorithmes comme biens culturels collectifs inaliénables, vérifiables, fiables, transparents, et légalement mandatés pour servir les droits du public qui les subventionne et les nourrit, l'IA peut cesser d'épuiser la terre et pirater le travail des créateurs avec son avidité de volumes croissants de données. Elle peut au lieu de cela, servir comme support de la coopération sociale, de l'équité universelle et de la paix, pour revendiquer le vrai pouvoir : celui de créer et d'habiliter, non pas celui de détruire et dominer. Elle peut nous aider à préserver la terre, à présent menacée comme source de vie⁽²²⁾. Elle peut nous aider à gérer la décroissance des économies qui, par leur sur-consommation, épuisent la terre au delà de ses ressources de régénération, pour pouvoir ainsi vraiment partager en éradiquant la pauvreté, l'inégalité et l'extractivisme [50, 63]. Le travail du féminisme intersectionnel à propos des données [40] peut nous être très utile dans tout ce parcours.

En harmonie avec ces observations, j'essaie à présent d'utiliser la logique et le traitement automatique des langues dans leur potentiel de transformation sociale et

⁽¹⁹⁾C'est-à-dire, hiérarchies arbitraires imposées par la force et/ou l'endoctrinement, l'hégémonie masculine, de race et de classe, ayant besoin de violence pour maintenir leur « pouvoir », définissant le pouvoir comme celui de détruire et dominer, et mettant l'accent sur les technologies de destruction et d'exploitation

⁽²⁰⁾Dont les traits sont la coopération pro-sociale, l'équité entre tous types de personnes (de genre, de race, d'orientation sexuelle, d'habileté physique,...), sans violence systémique, orientées vers la paix, définissant le pouvoir comme celui de créer et d'habiliter.

⁽²¹⁾https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2023/02/23/polluants-eternels-comment-le-monde-a-suivi-la-trace-des-pfas-a-travers-l-europe_6162944_4355770.html.

⁽²²⁾cf. e.g. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22884-9>.

écologique, dans le cadre de trois projets : Womb Grammars [2, 29, 35], pour la sauvegarde des langues menacées d'extinction ; Doughnut Computing [27, 36] (voir Appendice B), pour aider à surmonter les catastrophes sociales et écologiques interdépendantes ; et un soutien éducatif mondial axé sur la PL, pour aider à universaliser la pensée logique et les compétences de codage qui peuvent nous protéger des dogmes systémiques, des stéréotypes, des idées reçues, des fausses nouvelles, etc., et aussi servir à résoudre nos problèmes les plus urgents.

J'invite le lecteur à être alerte et proactif, dans sa sphère d'influence, pour que l'IA soit démystifiée, soit mise au service de tous et ne présente plus de défi existentiel pour les populations défavorisées. Je l'invite aussi à nous joindre du moins dans notre projet éducatif (<http://prologyear.logicprogramming.org/Education.html>), issu des célébrations des 50 ans de Prolog. Ce projet a pour but d'utiliser Prolog et ses successeurs pour faire de la pensée informatique et logique un sujet primordial dans les programmes d'études partout au monde. Finalement, je nous invite tous à honorer la mémoire d'Alain, cet architecte inlassable de la beauté logique exécutable, en préférant toujours la beauté, la concision et la logique à la force brute.

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ma plus profonde gratitude à la mémoire d'Alain Colmerauer, mon père scientifique, exceptionnel visionnaire alchimiste de la logico-linguistique ; à mes amis du GIA de Luminy qui m'ont si chaleureusement accueillie, plus particulièrement mon copain de DEA Roland Sambuc, mes amis Cristina et Michel van Caneghem, qui ont tant contribué à ma récupération quand je suis arrivée, gravement malade, à Marseille, et mes copains de bureau : Jacques Guizol, Henri Meloni, Miguel Rodriguez et Gérard Battani ; à mes nombreux collaborateurs et élèves de par le monde ; aux deux pays merveilleux -l'Argentine et la France- qui m'ont permis d'étudier sans frais (comme ce devrait être le cas partout), sans quoi l'aventure ici racontée n'aurait jamais eu lieu ; aux Calanques, source inépuisable d'inspiration ; à NSERC qui a financé mes programmes de recherche pendant toute ma vie professionnelle au Canada, mon pays d'adoption ; à la musique qui m'a toujours équilibrée en me procurant un complément indispensable de la science ; à mes enfants, ma petite fille, mes amis, la vie. Grand merci spécial à Colette Colmerauer, Odile Papini et Vincent Risch pour leur amitié et pour avoir initié et continué l'hommage à Alain qui matérialise ce volume, merci encore à Colette pour avoir entrepris la correction de mes erreurs de français dans tout ce texte ; à Henri Prade pour de nombreuses discussions éclaircissantes autour de son manuscrit et du mien, à Mauricio Milchberg, Jacinto Dávila et Paul Tarau pour leurs commentaires très perspicaces sur la première version de cet article, et à Laura Cecchi pour son aide au format et aux figures. Ce travail a été complété avec support du NSERC Discovery grant 31611024.

ANNEXE A. EXEMPLE MINIMALISTE D'UNE GRAMMAIRE LOGIQUE

Pour les lectrices ou lecteurs non familiarisés avec les grammaires logiques, on exemplifie leur pouvoir par les trois règles de réécriture suivantes :

dis --> **fais**; **quoi**.

fais --> [ouvre]; [peins]; [donne].

quoi --> [fenêtre]; [porte]; [boîte]; [bouteille].

On peut consulter cette grammaire en mode reconnaissance, pour que Prolog vérifie si une phrase appartient ou non au langage défini par les règles :

?- **dis**(QuelqueChose, []).

ou en mode synthèse, pour engendrer de telles phrases :

?-**dis**(X, []).

On remarque que les mots utilisables dans la conversation (symboles « terminaux ») se notent par des parenthèses carrées, ce qui les distingue des non-terminaux tels que « parle ». Le « ; » annonce une autre option. Une fois rentrée, cette grammaire peut se consulter soit pour engendrer des phrases possibles dans la demi-langue des bébés que la grammaire représente (ouvre porte, donne bouteille, ...), soit pour reconnaître des phrases données (la réponse sera « oui » quand elles appartiennent à cette langue, ou « échec » sinon.

L'ajout des paramètres pour construire pendant l'évaluation de la requête l'information sémantique contenue dans la phrase (c'est-à-dire, une représentation sémantique quelconque, par exemple en logique) permet d'engendrer directement, comme effet latéral, la représentation d'une requête (pour l'évaluer ensuite directement contre le système informatique qui décrit l'état du monde dont on parle), sans avoir à passer par un langage de requêtes spécialisé. Le choix d'une sémantique appropriée dépendra, bien sûr, de ce qu'on veut obtenir : e.g. qu'un agent exécute une action, ou connaître la réponse à une question par rapport à une base de connaissances pertinente, ou la description, par rapport à un système de configuration donné, d'une configuration possible qui satisfait des propriétés déterminées, ...

L'astuce d'Alain qui permet de compiler des règles logiques en Prolog, par liste de différences, consiste, comme on l'a vu dans 2.3, à ajouter à chaque règle grammaticale deux arguments supplémentaires, représentant la liste des mots d'entrée et la liste des mots de sortie, c'est-à-dire les mots qui restent une fois que le prédicat qui reçoit la liste d'entrée a consommé de cette liste les mots nécessaires à sa tâche spécifique. Par exemple,

dis --> **fais**, **quoi**.

compile à :

dis(X0,X) --> **fais**(X0,X1), **quoi**(X1,X).

ANNEXE B. COMMENT UTILISER LES VISUALISATIONS « DOUGHNUT » DE NOTRE ÉTAT SOCIAL ET ÉCOLOGIQUE : OUTILS PROLOG DE TRANSFORMATION

Kate Raworth a traduit les données numériques sur des indicateurs de notre état social (ceux des Nations Unies sur les droits des personnes) et écologique (ceux identifiés par les scientifiques de la terre) sous la forme d'une visualisation en beignet (d'où le nom Doughnut Economics), montrée dans les figures B.1, B.2). Les surfaces en rouge dedans le cercle intérieur représentent des manques en droits de l'humanité. Les surfaces en rouge qui dépassent le cercle extérieur du Doughnut représentent des transgressions en termes de droits de la planète (c'est-à-dire, combien on s'est éloigné du point de récupération spontanée possible). La situation de sécurité humaine et planétaire à laquelle il faut viser se montrerait comme dans la figure B.2.

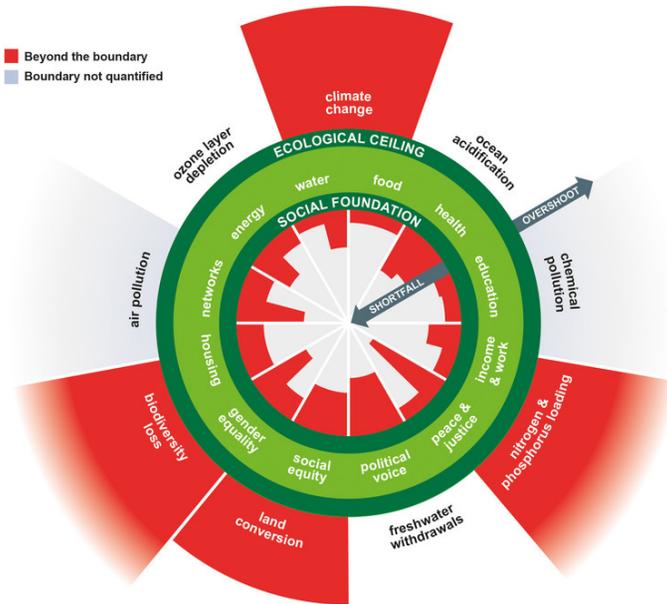


FIGURE B.1. État actuel

Le passage d'une situation présente à la situation dont on a besoin peut s'explorer en développant un corpus de programmes logiques que l'on pourrait dénommer collectivement « Doughnut Computing » et qui ferait partie de l'Intelligence Artificielle Régénérative et Redistributive. Par exemple, la grammaire logique qui peut être accédée et testée ici : <https://swish.swi-prolog.org/p/CO2.pl> propose des solutions possibles pour un problème quantifiable quelconque par rapport à un indicateur soit écologique, soit social, et l'exemplifie avec le cas des émissions de CO2, qui au Canada doivent passer de leur valeur actuelle de 15 à 0. L'utilisateur doit rentrer,

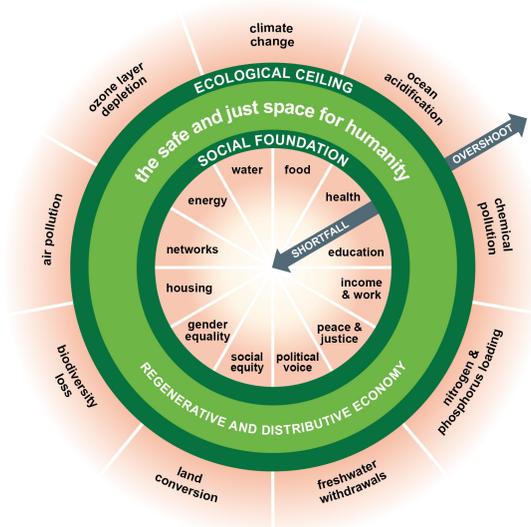


FIGURE B.2. Notre but

pour son exemple particulier, la quantité (en pourcentages ou autre unité de mesure quelconque) représentant l'état actuel et l'état voulu, plus un nom et un numéro pour chacune des actions qui contribuerait, si prise, à le résoudre, et en quelle quantité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. ABRAMSON & V. DAHL, *Logic Grammars*, Springer, 1989.
- [2] I. ADEBARA & V. DAHL, « Grammar Induction as Automated Transformation between Constraint Solving Models of Language », in *Proceedings KnowProS* (R. Bartak, T. L. McCluskey & E. Pontelli, eds.), CEUR Workshop Proceedings, vol. 1648, CEUR, 2016.
- [3] A. BARRANCO-MENDOZA, D. R. PERSAOUZ & V. DAHL, « A property-based model for lung cancer diagnosis (poster) », in *8th Annual Int. Conf. on Computational Molecular Biology, RECOMB 2004*, 2004.
- [4] M. BAVARIAN & V. DAHL, « RNA Secondary Structure Design Using Constraint Handling Rules », in *Proceedings Workshop on Constraints for Bioinformatics, ICLP'05* (Spain), Sitges, 2005.
- [5] M. BAVARIAN & V. DAHL, « Constraint Based Methods for Biological Sequence Analysis », *Journal of Universal Computer Science* **12** (2006), p. 1500-1520.
- [6] W. BEHRINGER, *Witches and Witch-Hunts: A Global History*, Cambridge: Polity P., 2004.
- [7] E. M. BENDER & A. KOLLER, « Climbing towards NLU: On Meaning, Form, and Understanding in the Age of Data », in *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Association for Computational Linguistics, 2020, p. 5185-5198.
- [8] A. BIRHANE, « Algorithmic injustice: a relational ethics approach », *Patterns* **2** (2021), n° 2, article no. 100205.
- [9] A. BON, S. ROUDAUT & S. ROUSSEAU, *Par-delà l'androcène*, Editions du Seuil, 2022.

- [10] A. CALISKAN, J. BRYSON & A. NARAYANAN, « Semantics derived automatically from language corpora contain human-like biases », *Science* **356** (2017), n° 6334, p. 183-186.
- [11] L. CECCHI, J. RODRIGUEZ & V. DAHL, « Logic Programming at Elementary School: Why, What and How Should We Teach Logic Programming to Children? », in *Prolog: The Next 50 Years* (D. S. Warren, V. Dahl, T. Eiter, M. Hermenegildo, R. Kowalski & F. Rossi, eds.), LNCS, n° 13900, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023, p. 131-143.
- [12] R. CHOWDHURY & D. LAKSHMI, *La violence de genre facilitée par la technologie à l'ère de l'intelligence artificielle générative*, n° 13900, UNESCO, 2023.
- [13] H. CHRISTIANSEN, « Logical Grammars Based on Constraint Handling Rules », in *Proceedings ICLP 2002* (P. J. Stuckey, éd.), Lecture Notes in Computer Science, vol. 2401, Springer, 2002, p. 481.
- [14] H. CHRISTIANSEN & V. DAHL, « HYPROLOG: A New Logic Programming Language with Assumptions and Abduction », in *Proceedings ICLP 2005* (M. Gabbrielli & G. Gupta, eds.), Lecture Notes in Computer Science, vol. 3668, Springer, 2005, p. 159-173.
- [15] A. COLMERAUER, H. KANOUI, R. PASERO & P. ROUSSEL, « Un système de communication Homme-Machine en Français », rapport de recherche, Groupe d'Intelligence Artificielle, Université d'Aix-Marseille II, 1972.
- [16] A. COLMERAUER & J. F. PIQUE, « About Natural Logic », in *Advances in Data Base Theory: Volume 1* (H. Gallaire, J. Minker & J. M. Nicolas, eds.), Springer US, Boston, MA, 1981, p. 343-365.
- [17] A. COLMERAUER, « Les systèmes Q ou un formalisme pour analyser et synthétiser des phrases sur ordinateur », Internal publication 43, Département d'Informatique, Université de Montréal, 1970.
- [18] ———, « Les grammaires de métamorphose GIA », English version, Metamorphosis grammars. In L. Bolc, (Ed.), *Natural Language Communication with Computers, Lecture Notes in Computer Science* **63**, Springer, 1978, pp. 133-189, 1975.
- [19] ———, « Un sous-ensemble intéressant du français », *RAIRO. Informatique théorique et Applications* **13** (1979), n° 4, p. 309-336.
- [20] V. DAHL, « Un système déductif d'interrogation de banques de données en espagnol », Thèse, Université d'Aix-Marseille II, 1977.
- [21] ———, « Logical Design of Deductive, Natural Language Consultable Data Bases », in *Proc. V International Conference on Very Large Data Bases, Rio de Janeiro*, 1979, p. 24-31.
- [22] ———, « Quantification in a Three-Valued Logic for Natural Language Question-Answering Systems », in *Proceedings IJCAI*, vol. 1, William Kaufmann, 1979, p. 182-187.
- [23] ———, « A three-valued logic for natural language computer applications », in *Proc. International Symposium on Multiple Valued Logic*, Illinois, 1980, p. 102-107.
- [24] ———, « Two Solutions for the Negation Problem », in *Proceedings Workshop on Logic Programming*, 1980.
- [25] ———, « Translating Spanish into Logic through Logic », *Comput. Linguist.* **7** (1981), n° 3, p. 149-164.
- [26] ———, « On Database Systems Development Through Logic », *ACM Trans. Database Syst.* **7** (1982), n° 1, p. 102-123.
- [27] ———, « Doughnut computing: aiming at human and ecological well-being », in *Proceedings 6th International Conference on the History and Philosophy of Computing (HAPOC-6)*, 2021.
- [28] V. DAHL, G. BEL-ENGUIX, E. MIRALLES & V. TIRADO, « Grammar Induction for Under-resourced Languages: The Case of Ch'ol », in *Proceedings AVERTIS 2019. Essays Dedicated to Manuel Hermenegildo on the Occasion of His 60th Birthday* (J. Gallagher, R. Giacobazzi & P. Lopez-Garcia, eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2021, To appear.
- [29] V. DAHL, G. BEL-ENGUIX, V. TIRADO & E. MIRALLES, « Grammar Induction for Under-Resourced Languages: The Case of Ch'ol », in *Analysis, Verification and Transformation for Declarative Programming and Intelligent Systems: Essays Dedicated to Manuel Hermenegildo on the Occasion of His 60th Birthday* (P. Lopez-Garcia, J. P. Gallagher & R. Giacobazzi, eds.), LNCS, vol. 13160, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023, p. 113-132.
- [30] V. DAHL & P. BLACHE, « Directly Executable Constraint Based Grammars », in *Proc. Journées Francophones de Programmation en Logique avec Contraintes*, 2004.
- [31] ———, « Extracting Selected Phrases through Constraint Satisfaction », in *Proc. Constraint Satisfaction and Language Processing SLP'05*, 2005.

- [32] V. DAHL & L. CECCHI, « Introducing Prolog in Language-Informed Ways », in *Prolog: The Next 50 Years* (D. S. Warren, V. Dahl, T. Eiter, M. Hermenegildo, R. Kowalski & F. Rossi, eds.), LNCS, n° 13900, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [33] V. DAHL, A. FALL & M.-C. THOMAS, « Driving robots through natural language », in *1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century*, vol. 2, 1995, p. 1904-1908.
- [34] V. DAHL & M. McCORD, « Treating Coordination in Logic Grammars », *Computational Linguistics* **9** (1983), n° 2, p. 69-91.
- [35] V. DAHL & J. E. MIRALLES, « Womb Grammars: Constraint Solving for Grammar Induction », in *Proceedings CHR* (J. Sneyers & T. Frühwirth, eds.), Report CW, vol. 624, KU Leuven, 2012, p. 32-40.
- [36] V. DAHL & J. J. MORENO-NAVARRO, « Doughnut Computing in City Planning for Achieving Human and Planetary Rights », in *Bio-inspired Systems and Applications: from Robotics to Ambient Intelligence* (Cham) (J. M. Ferrández Vicente, J. R. Álvarez-Sánchez, F. de la Paz López & H. Adeli, eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer International Publishing, 2022, p. 562-572.
- [37] V. DAHL & R. SAMBUC, « Un système de banque de données en logique du premier ordre, en vue de sa consultation en langue naturelle », D.e.a. report, Université d'Aix-Marseille II, 1976.
- [38] V. DAHL, P. TARAU & R. LI, « Assumption Grammars for Processing Natural Language », in *Proceedings International Conference on Logic Programming '97* (Springer, éd.), 1997, p. 256-270.
- [39] L. DE RAEDT, S. DUMANCIC, R. MANHAEVE & G. MARRA, « From Statistical Relational to Neuro-Symbolic Artificial Intelligence », in *Proceedings IJCAI* (C. Bessiere, éd.), International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization, 2020, p. 4943-4950.
- [40] C. D'IGNAZIO & L. F. KLEIN, *Data Feminism*, Strong Ideas, MIT Press, Cambridge, MA, 2020.
- [41] D. DUSSY, *Le berceau des dominations. Anthropologie de l'inceste*, Pocket, 2021, 402 pages.
- [42] R. EISLER, *The Chalice and the Blade: Our History, Our Future—Updated With a New Epilogue*, HarperOne, 2011.
- [43] R. EISLER & D. P. FRY, *Nurturing Our Humanity: How Domination and Partnership Shape Our Brains, Lives, and Future*, Oxford University Press, Oxford, 2019.
- [44] E. W. ELCOCK, « Absys: The First Logic Programming Language », *Journal of Logic Programming* **9** (1990), n° 1, p. 1-17.
- [45] R. W. FLOYD, « Nondeterministic Algorithms », *Journal of the ACM* **14** (1967), n° 4, p. 636-644.
- [46] M. L. GRAY & S. SIDDHARTH, *Ghost Work: How to Stop Silicon Valley from Building a New Global Underclass*, Harper Business, 2019, 288 pages.
- [47] C. C. GREEN, *The Application of Theorem Proving to Question-Answering Systems*, Outstanding Dissertations in the Computer Sciences, Garland Publishing, New York, 1969.
- [48] R. S. HELLBERG & M. T. MORRISSEY, « QAdvances in DNA-based techniques for the detection of seafood species substitution on the commercial market », *J Lab Autom.* **16** (2011), n° 4, p. 308-321.
- [49] C. HEWITT, « PLANNER: A Language for Proving Theorems in Robots », in *Proceedings IJCAI* (D. E. Walker & L. M. Norton, eds.), William Kaufmann, 1969, p. 295-302.
- [50] J. HICKEL, *Less Is More: How Degrowth Will Save the World*, Penguin Random House, 2020.
- [51] A. JOBIN et al., « The Global Landscape of AI Ethics Guidelines », *Nat. Mach. Intell.* **1** (2019), p. 389-399.
- [52] E. L. KEENAN, « On Semantically Based Grammars », *Linguistic Inquiry* **3** (1972), n° 4, p. 413-461.
- [53] R. KOWALSKI & D. KUEHNER, « Linear resolution with selection function », *Artif. Intell.* **2** (1971), n° 3, p. 227-260.
- [54] R. A. KOWALSKIC, J. D. QUINTERO, G. SARTOR & M. CALEJO, « Logical English for Law and Education », in *Prolog: The Next 50 Years* (D. S. Warren, V. Dahl, T. Eiter, M. Hermenegildo, R. Kowalski & F. Rossi, eds.), LNCS, n° 13900, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [55] P. KÖRNER, M. LEUSCHEL, J. BARBOSA, V. SANTOS COSTA, V. DAHL, M. V. HERMENEGILDO, J. F. MORALES, J. WIELEMAKER, D. DIAZ, S. ABREU & G. CIATTO, « Fifty Years of Prolog and Beyond », <https://arxiv.org/abs/2201.10816>, 2022.
- [56] G. LAKOFF & J. R. ROSS, « Es necesaria la estructura profunda? », in *Semántica y Sintaxis en la Teoría Transformativa*, Alianza Editorial de Madrid, 1974, p. 226-231.

- [57] A. LALLY, J. M. PRAGER, M. C. McCORD, B. BOGURAEV, S. PATWARDHAN, J. FAN, P. FODOR & J. CHU-CARROLL, « Question analysis: How Watson reads a clue », *Journal of Research and Development* **56** (2012), n° 3.4, p. 2:1-2:14.
- [58] L. C. LAMB, A. S. D'AVILA GARCEZ, M. GORI, M. O. R. PRATES, P. H. C. AVELAR & M. Y. VARDI, « Graph Neural Networks Meet Neural-Symbolic Computing: A Survey and Perspective », in *Proceedings IJCAI* (C. Bessiere, éd.), International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization, 2020, p. 4877-4884.
- [59] G. MARCUS & E. DAVIS, « GPT-3, Bloviator: OpenAI's language generator has no idea what it's talking about », MIT Technology Review, 2020.
- [60] M. McCORD, « Using Slot Grammar », <https://dominoweb.draco.res.ibm.com/reports/rc23978revised.pdf>, 2010.
- [61] D. McQUILLAN, *Resisting AI: An Anti-fascist Approach to Artificial Intelligence*, Policy Press, 2022.
- [62] R. MONTAGUE, « The Proper Treatment of Quantification in Ordinary English », in *Approaches to Natural Language* (K. J. J. Hintikka, J. M. E. Moravcsik & P. Suppes, éd.), Springer Netherlands, Dordrecht, 1973, p. 221-242.
- [63] T. PARRIQUE, *Ralentir ou périr*, Seuil, 2022, Prix EcoloObs.
- [64] F. C. N. PEREIRA & S. M. SHIEBER, *Prolog and natural-language analysis*, CSLI Lect. Notes, vol. 10, Stanford : Center for the Study of Language and Information, 1987 (English).
- [65] F. C. N. PEREIRA & D. H. D. WARREN, « Definite Clause Grammars for Language Analysis – A Survey of the Formalism and a Comparison with Augmented Transition Networks », *Artif. Intell.* **13** (1980), n° 3, p. 231-278.
- [66] J. F. PIQUE, « Interrogation en Français d'une Base de Donnée Relationnelle », Mémoire de dea, Faculté des Sciences de Luminy, Université Aix-Marseille II, 1978.
- [67] G. PISANO, G. CIATTO, R. CALEGARI & A. OMCINI, « Neuro-symbolic Computation for XAI: Towards a Unified Model », in *Proceedings WOA* (R. Calegari, G. Ciatto, E. Denti, A. Omicini & G. Sartor, éd.), CEUR Workshop Proceedings, vol. 2706, CEUR, 2020, p. 101-117.
- [68] K. RAWORTH, *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Chelsea Green Publishing, 2017.
- [69] M. RESSA, *How to Stand Up to a Dictator- the Fight for our Future*, Harper Collins publishers, 2022.
- [70] C. RIEDL, Y. J. KIM, P. GUPTA, T. W. MALONE & A. W. WOOLEY, « Quantifying collective intelligence in human groups », *PNAS* **118** (2021), n° 21, article no. e2005737118.
- [71] J. A. ROBINSON, « A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle », *Journal of the ACM* **12** (1965), n° 1, p. 23-41.
- [72] J. SNEYERS, P. VAN WEERT, T. SCHRIJVERS & L. DE KONINCK, « As time goes by: Constraint Handling Rules – A survey of CHR research from 1998 to 2007 », <https://arxiv.org/abs/0906.4474>, 2009.
- [73] W. STEFFEN, K. RICHARDSON, J. ROCKSTRÖM, S. E. CORNELL, I. FETZER, E. M. BENNETT, R. BIGGS, S. R. CARPENTER, W. DE VRIES, C. A. DE WIT, C. FOLKE, D. GERTEN, J. HEINKE, G. M. MACE, L. M. PERSSON, V. RAMANATHAN, B. REYERS & S. SÖRLIN, « Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet », *Science* **347** (2015), n° 6223, article no. 1259855.
- [74] P. TARAU, « Natlog: a Lightweight Logic Programming Language with a Neuro-symbolic Touch », in *Proceedings 37th International Conference on Logic Programming (Technical Communications), Porto (virtual event), 20-27th September 2021* (A. Formisano, Y. A. Liu, B. Bogaerts, A. Brik, V. Dahl, C. Dodaro, P. Fodor, G. L. Pozzato, J. Vennekens & N.-F. Zhou, éd.), EPTCS, vol. 345, 2021, p. 141-154.
- [75] A. VIDELA, « Echoes of Intelligence: Textual interpretation and large language models », *Communications of the ACM* **21** (2023), n° 3, p. 36-53.
- [76] D. H. WARREN & F. C. PEREIRA, « An Efficient Easily Adaptable System for Interpreting Natural Language Queries », *American Journal of Computational Linguistics* **8** (1982), n° 3-4, p. 110-122.
- [77] D. S. WARREN, V. DAHL, T. EITER, M. HERMENEGILDO, R. KOWALSKI & F. ROSSI (éd.), *Prolog: The Next 50 Years*, LNCS, n° 13900, Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [78] S. ZUBOFF, *The Age of Surveillance Capitalism – The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*, Profile Books, 2019.

ABSTRACT. — This article examines the enduring influence of linguistics and natural language on Prolog. It analyses the use of these tools (or the absence of use) in Artificial Intelligence nowadays while clarifying the limits of the word “intelligence” in this context. It proposes different ways of designing AI to create a more equitable and environmentally friendly world, with Prolog as a programming language and natural language as a barometer to overcome our present social and environmental crises.

KEYWORDS. — Prolog, logic programming, natural language, linguistics, symbolic and subsymbolic AI, existential risks, Doughnut computing solutions, regenerative and redistributive AI.

Manuscrit reçu le 27 mai 2024, accepté le 12 juillet 2024.