

Evaluer la créativité analogique - Une expérimentation

Stergos Afantenos¹, Leonardo Cortez Bernardes¹, Henri Prade¹

¹ Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT), Univ. Toulouse, Toulouse INP, CNRS

stergos.afantenos@irit.fr, bernardesleonardo0@gmail.com, henri.prade@irit.fr

Résumé

Le raisonnement analogique est considéré comme créatif. Après avoir examiné les différents points de vue sur la créativité computationnelle et son évaluation, nous nous intéressons à une forme particulière d'inférence analogique basée sur les proportions analogiques, qui sont des relations quaternaires comparant les différences entre deux paires d'éléments. Ce mécanisme d'inférence est capable de générer un nouvel élément à partir de trois éléments décrits par le même ensemble de caractéristiques. Ce mécanisme est utilisé, dans le cadre d'une expérimentation, pour générer de nouveaux prompts adressés à un chatbot basé sur un LLM afin de générer du texte contraint. Les prompts spécifient les émotions à l'œuvre dans un court texte décrivant une situation banale. La distance de Hellinger et la divergence de Kullback-Leibler sont utilisées pour des évaluations de la créativité au niveau du prompt ou du texte. Les mérites relatifs de ces deux mesures d'évaluation de la créativité sont discutés. L'article s'appuie sur un mécanisme créatif original couplant l'inférence analogique et la génération de texte basée sur le LLM.

Mots-clés

Creativité, proportion analogique, LLM.

Abstract

Analogical reasoning is said to be creative. After discussing views of computational creativity and its evaluation, we consider a particular form of analogical inference based on analogical proportions, which are quaternary relations comparing the differences inside two pairs of items. This inference mechanism is capable of generating a new item from three items described on the same set of features. This mechanism is used, in an experiment, to generate new prompts that are addressed to an LLM-based chatbot to generate constrained text. The prompts specify the emotions at work in a short text describing a mundane situation. Hellinger distance and Kullback-Leibler divergence are used for provisional assessments of creativity at the prompt level or the text level. The relative merits of these two measures of creativity assessment are discussed. The paper relies on an original creative mechanism coupling analogical inference and LLM-based text generation.

Keywords

Creativity, analogical proportion, LLM.

1 Introduction

La créativité désigne la capacité à développer des idées ou des productions originales et, de préférence, de valeur. Cela s'applique clairement à un large éventail d'œuvres. La créativité humaine englobe les arts, la littérature et l'humour, ainsi que la résolution de problèmes, laquelle couvre une variété de situations rencontrées en mathématiques et en sciences, ainsi que dans les problèmes de la vie quotidienne. La créativité, en tant qu'atout majeur de l'esprit humain, constitue depuis longtemps un enjeu important de la recherche en intelligence artificielle [8, 41, 18], comme on peut le voir notamment pour la musique [69], les arts visuels [19] et la littérature [64].

Le recours aux analogies est reconnu comme une forme de créativité, en particulier pour la résolution de problèmes. Cette approche a été préconisée par de nombreux auteurs, en psychologie cognitive (par exemple, [22, 23, 32]), en intelligence artificielle [65] et en mathématiques [46]. La créativité apparaît d'autant plus évidente et frappante que l'analogie rapproche deux situations éloignées, ou deux cadres de référence tout à fait différents.

Le raisonnement analogique peut prendre diverses formes selon les cadres de modélisation utilisés. En "Structure-mapping theory" et dans les approches connexes [30, 26, 34], le raisonnement analogique est considéré comme la capacité à établir des parallèles entre deux univers (ou, plus simplement, deux situations) en faisant correspondre les relations entre les éléments du premier univers (et leurs propriétés) à celles applicables aux éléments du second univers, et à tirer des conclusions potentielles dans le second univers à partir de la similarité des relations dans les deux univers (le second univers étant supposé ici moins connu que le premier). Ce type de raisonnement analogique peut être encodé dans un cadre logique classique (nécessitant une anti-unification du second ordre) [31] où l'on peut, par exemple, saisir la célèbre analogie créative de Rutherford, où on compare le système solaire (jouant le rôle du premier univers) au modèle atomique de Rutherford (le second univers) [62].

Le raisonnement à partir de cas [38, 1, 28] est souvent considéré comme une forme simple de raisonnement analogique. Il utilise un répertoire de cas, composés de paires (problème, solution), et propose une solution à un problème cible en adaptant la solution d'un problème similaire présent dans ce répertoire. Cependant, la créativité du raison-

nement à partir de cas demeure relativement modeste, dans la mesure où les problèmes comparés sont similaires¹. Un parallèle est ainsi établi entre la paire (problème, solution) utilisée et le problème cible, ainsi que sa solution proposée. On peut dire que la solution proposée est au problème cible ce que la solution du cas similaire est au problème du cas présenté.

L'énoncé ci-dessus, qui relie quatre éléments, est une proportion analogique de la forme « a est à b ce que c est à d ». En effet, lorsqu'on établit un parallèle entre une paire (a, b) dans un premier univers et la paire correspondante (c, d) dans un second univers, on obtient de telles proportions, comme l'indique [33]. Par exemple, dans l'analogie de Rutherford, « l'électron est au noyau ce que la planète est au soleil ». Dans cet exemple, la proportion analogique implique deux univers (très différents); dans le raisonnement à partir de cas, on observe une autre distinction entre problèmes et solutions.

Il existe un troisième type de raisonnement analogique, directement fondé sur les proportions analogiques. Sachant que « a est à b ce que c est à d », on infère d (ou une partie inconnue de sa description) à partir du triplet (a, b, c) . Ce raisonnement exige que les quatre éléments soient de même nature, c'est-à-dire qu'ils puissent être décrits par le même ensemble d'attributs, ce qui n'est pas nécessairement le cas dans les deux approches précédentes. Il convient de souligner [4] que les proportions analogiques peuvent soit impliquer quatre éléments descriptibles par le même ensemble d'attributs, comme dans « un chiot est à un chien ce qu'un chaton est à un chat », soit associer deux univers (celui de a et c , et celui de b et d) qui se réfèrent à deux ensembles d'attributs distincts, comme dans « le vin est aux Français ce que la bière est aux Anglais ». Dans cet article, nous nous concentrons uniquement sur le premier type de proportions analogiques.

Les proportions analogiques semblent créatives dans la mesure où a, b, c et d peuvent être tous différents, et où d – qui peut être obtenu à partir de a, b, c – est décrit par une recombinaison des caractéristiques de a, b, c . Cependant, la question de l'évaluation d'une telle créativité se pose. Dans cet article, nous proposons une expérience qui illustre ce processus créatif dans le domaine de la génération de texte, et nous tentons de mesurer la nouveauté du résultat obtenu.

Cet article² étudie la créativité à l'aide de l'inférence basée sur les proportions analogiques. Il est organisé comme suit. La Section 2 passe en revue différents aspects de la créativité et les méthodes pour l'évaluer. Elle examine également les moyens de mesurer la créativité qui ont été proposés, tels que la distance de Hellinger ou la divergence de Kullback-Leibler, et discute de leurs mérites respectifs. La Section 3 présente les proportions analogiques et l'inférence analogique, et souligne leur potentiel pour la créativité, qui est évalué théoriquement. La Section 4 décrit le

1. Cependant, à la suite d'idées qui apparaissent déjà dans [59], il existe des travaux sur la créativité basés sur le raisonnement à partir de cas; citons dans le domaine musical [51, 52], [21].

2. Une version anglaise de cet article a été acceptée à la 17th International Conference on Computational Creativity [2].

cadre d'une expérience : l'inférence basée sur les proportions analogiques est utilisée pour générer des combinaisons de caractéristiques relatives à un court texte rapportant une suite de faits ordinaires. Ces combinaisons de caractéristiques servent ensuite d'invites (*prompts*) adressées à un chatbot basé sur un LLM pour générer des textes contraints. Ainsi, la créativité peut être mesurée à la fois au niveau des prompts et au niveau du texte. La Section 5 présente les résultats de l'expérience, et la Section 6 propose une discussion finale.

2 La créativité et son évaluation

Dans cette section, nous passons d'abord en revue les travaux sur la créativité computationnelle visant à la formaliser ou à l'évaluer. Nous rappelons ensuite deux mesures statistiques de divergence proposées pour évaluer la nouveauté, un aspect majeur de la créativité.

2.1 Revue de travaux en créativité computationnelle

La créativité computationnelle désigne les systèmes d'IA capables d'imiter les processus créatifs humains. Ceci nous ramène à la créativité humaine. C'est pourquoi il peut être utile de partir de la définition de la créativité (humaine) donnée dans un article très cité [53] : “The word creativity is a noun naming the phenomenon in which a person communicates a new concept (which is the product). Mental activity (or mental process) is implicit in the definition, and of course no one could conceive of a person living or operating in a vacuum, so the term *press* is implicit. The definition begs the questions as how new the concept must be and to whom it must be new.” Cette première approche est connue pour introduire quatre « p » : personne, produit, processus et presse, impliqués dans tout processus créatif.

La créativité informatique fait l'objet de recherches actives depuis plus de trente ans. De manière générale, outre les travaux portant sur des programmes informatiques spécifiques capables de produire de nouvelles œuvres dans les domaines de l'art, de la littérature ou des mathématiques, de nombreux travaux ont tenté de définir, de catégoriser et de formaliser la créativité informatique en général, ou de proposer des méthodes générales d'évaluation de la créativité.

Cela a débuté avec les travaux influents de Boden [8, 9], qui distinguait trois types de créativité : combinatoire, exploratoire et transformationnelle. Dans la créativité combinatoire, le résultat est obtenu par une simple combinaison d'idées classiques, tandis que les deux autres formes de créativité se déploient dans un espace conceptuel : la première explore cet espace, tandis que la seconde le transforme (par exemple, en assouplissant certaines des contraintes qui le définissent). La créativité transformationnelle est considérée comme la forme la plus aboutie de créativité, dépassant la simple nouveauté.

Bundy [13] souligne que, selon Boden [9], un démonstrateur de théorèmes automatique résolvant une conjecture ouverte en mathématiques ne serait pas considéré comme vé-

ritablement créatif, le nouveau résultat étant obtenu par une procédure exploratoire. En revanche, lorsqu'une conjecture ouverte est résolue par un humain, son travail est vraisemblablement considéré comme créatif. Bundy a insisté sur la nécessité de prendre en compte la complexité potentiellement importante de l'exploration de l'espace conceptuel. Ajoutons qu'en mathématiques, outre la difficulté du résultat à établir, une démonstration novatrice fondée sur une nouvelle approche du problème peut être considérée comme un exemple de créativité transformationnelle.

En outre, Boden [9] fait la distinction entre la créativité p (« p » pour psychologique) et la créativité h (« h » pour historique), où la première est jugée par rapport aux productions de l'agent, tandis que le résultat de la seconde créativité est considéré comme nouveau par la société.

Les travaux inspirants de Boden ont incité certains chercheurs à formaliser et à affiner ses définitions d'espace conceptuel ou de créativité transformationnelle (voir par exemple [55] pour une discussion à ce sujet). Parmi les pistes de recherche notables, citons le développement d'une « théorie formelle de la créativité » par Wiggins [66, 67, 68], où l'espace conceptuel est appréhendé comme un ensemble d'artefacts possibles, associés à un ensemble de règles qui sélectionnent ceux qui sont acceptables (jouant ainsi le rôle d'un contrôle qualité), et où un autre ensemble de règles attribue une valeur à un artefact créé [67].

Wiggins conçoit la créativité transformationnelle comme une créativité exploratoire à un niveau méta, reprenant une idée défendue dans [12]. La créativité est envisagée comme un processus de recherche généralisé : i) sans hypothèse de monde clos ; ii) permettant la combinaison d'idées existantes ; iii) distinguant les heuristiques qui évaluent la qualité des solutions de celles utilisées pour trouver efficacement une solution ; et iv) privilégiant la notion de comparaison à celle de valeur. Cette conception de la créativité comme recherche a été approfondie et reformulée dans [57]. Plus récemment, le cadre de la théorie formelle de la créativité a été utilisé pour affirmer que « si la nouveauté n'est ni nécessaire ni suffisante à la créativité transformationnelle en général, lorsqu'un agent utilise un ensemble inspirant, plutôt qu'une séquence d'expériences, la nouveauté est effectivement requise pour que la créativité transformationnelle se manifeste » [58].

Une autre piste de recherche, inspirée par les travaux de Boden, est l'approche plus pragmatique proposée par Ritchie [54, 56], qui propose une série de critères pour attribuer de la créativité à un programme informatique, fondée sur trois indicateurs. En effet, outre les deux indicateurs reconnus de créativité que sont la *nouveauté* (l'élément produit doit être différent de ce qui est connu) et la *qualité* (l'élément produit doit avoir une valeur dans son genre), Ritchie ajoute la *typicité* (l'élément produit doit être représentatif de sa classe). De plus, le programme créatif peut utiliser un *ensemble inspirant* qui est conçu pour pouvoir recréer différemment (dans la mesure du possible). Les artefacts de sortie à forte valeur ajoutée d'un programme créatif, qui ne font pas déjà partie de l'ensemble inspirant, constituent l'*ensemble créatif* [17].

Maher [40] soutient que l'évaluation de la créativité est une combinaison de l'évaluation de trois critères essentiels de créativité : la nouveauté, la valeur et l'inattendu (ou la surprise), où « l'inattendu est mesuré par la distance entre l'artefact et l'artefact suivant attendu » (en tenant compte de la nature séquentielle de l'attente).

Schmidhuber [61] adopte une perspective d'apprentissage par renforcement pour modéliser les processus créatifs, où « la récompense créative du sélecteur d'actions correspond à la surprise ou à la nouveauté actuelle, mesurée par les améliorations apportées au modèle du monde ». L'idée est d'utiliser l'apprentissage par renforcement pour « créer, découvrir et apprendre de nouveaux schémas dans l'historique croissant des actions et des entrées sensorielles, la théorie spécifiant formellement ce qu'est un schéma, ce qui est nouveau ou surprenant, et ce que signifie l'apprentissage progressif de nouvelles compétences menant à des schémas encore plus inédits ». In [60] Schmidhuber défend l'idée que la créativité est un sous-produit d'un processus simple de compression de l'information qui privilégie les formes régulières moins complexes à coder (et trouvées plus belles).

Il ne faut pas confondre cela avec l'utilisation d'outils d'apprentissage automatique modernes pour la créativité computationnelle, où, par exemple, des images surprenantes peuvent être générées par un modèle de conversion texte-image à partir de consignes. Dans ce cas, la créativité repose sur la consigne (généralement d'origine humaine) qui spécifie la nécessité d'une *combinaison* inhabituelle d'éléments qui ne se rencontrent pas ensemble dans le monde réel.

Enfin, évoquons quelques idées générales souvent associées à la créativité. La créativité résulte fréquemment d'une fusion conceptuelle [63], qui correspond à l'association de deux cadres de référence différents pouvant être joints, reliés. Le raisonnement analogique, notamment lorsqu'il établit un parallèle entre deux univers distincts par le biais d'un *structure mapping*, est souvent considéré comme une forme de fusion conceptuelle (*conceptual blending*).

La « pensée latérale » [20], en résolution de problèmes, consiste à passer d'un modèle familier à un modèle nouveau et inattendu. Ceci se rapproche de l'idée de « penser hors des sentiers battus », qui s'apparente à une opération de transformation visant à élargir et à modifier l'espace conceptuel.

2.2 Mesures potentielles de nouveauté

L'étude précédente a montré que tous s'accordent à dire que la nouveauté est un critère essentiel d'évaluation de la créativité. La qualité et la valeur des éléments produits semblent plus faciles à maintenir grâce aux contraintes imposées par le programme informatique. Dans cette section, nous passons en revue deux mesures utilisées en pratique pour évaluer la nouveauté : la distance de Hellinger et la divergence de Kullback-Leibler.

Ces mesures comparent deux distributions de probabilité. Appliquées à la créativité, on peut considérer que la première distribution décrit l'ensemble des éléments inspirants

et la seconde, les éléments produits par le système. Ces mesures évaluent dans quelle mesure les éléments produits diffèrent des exemples initiaux.

2.2.1 Distance de Hellinger

Cette distance est utilisée dans l'évaluation de la créativité, par exemple dans [27]. Elle a été introduite pour la première fois en 1909 par Hellinger, un mathématicien allemand. Étant donné deux distributions de probabilité discrètes $P = (p_1, \dots, p_n)$ et $Q = (q_1, \dots, q_n)$ sur le même espace $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ (où $p_i = P(\{x_i\})$, $\sum_{i=1,n} p_i = 1 = \sum_{i=1,n} q_i$), leur distance de Hellinger est définie par

$$H(P, Q) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{i=1,n} (\sqrt{p_i} - \sqrt{q_i})^2}$$

On peut voir facilement que

$$H^2(P, Q) = 1 - \sum_{i=1,n} \sqrt{p_i q_i}$$

Comme on peut le constater, la distance de Hellinger est liée à la distance euclidienne. Nous avons $0 \leq H(P, Q) \leq 1$. $H(P, Q) = 0$ si et seulement si $p_i = q_i$ pour tout i . $H(P, Q) = 1$ si et seulement si P and Q sont mutuellement singulières, i.e., $\forall i, p_i > 0 \Rightarrow q_i = 0$ et inversement $\forall i, q_i > 0 \Rightarrow p_i = 0$.

La quantité $\sum_{i=1,n} \sqrt{p_i q_i}$ est connue comme le coefficient de Bhattacharyya, une mesure bien connue de similarité entre deux distributions de probabilité P et Q . Ainsi, $H(P, Q)$ est une mesure de dissimilarité entre ces distributions.

2.2.2 La divergence de Kullback-Leibler

Cette divergence [39] est une mesure d'entropie relative qui évalue l'écart entre la distribution de probabilité Q et la distribution de probabilité P . Elle est définie par

$$KL(P||Q) = \sum_{i=1,n} p_i \ln \frac{p_i}{q_i} = \sum_{i=1,n} (p_i \ln p_i - p_i \ln q_i)$$

Généralisation naturelle de l'entropie de Shannon, cette mesure a été caractérisée de différentes manières et appliquée dans divers domaines. Elle est positive : $KL(P||Q) \geq 0$, La divergence est non symétrique $KL(P||Q) \neq KL(Q||P)$, Il ne s'agit donc pas d'une distance. L'utilisation classique de cette divergence consiste à évaluer dans quelle mesure Q constitue une approximation acceptable de P . Dans cette perspective, plus la divergence est faible, mieux c'est : plus P et Q sont similaires. $KL(Q||P) = 0$ si et seulement si $p_i = q_i$ for all i . Il ne s'agit donc pas d'une distance. L'utilisation classique de cette divergence est de juger dans quelle mesure Q est une approximation acceptable de P . Dans cette perspective, plus la divergence est faible, mieux c'est, car P et Q sont similaires. $KL(Q||P) = 0$ si et seulement si $p_i = q_i$ pour tout i .

De plus, $KL(P||Q)$ est fini uniquement si le support de P est inclus dans le support de Q ($\forall i, p_i > 0 \Rightarrow q_i > 0$). En revanche, si $\exists i, p_i > 0$ et $q_i = 0$, alors $KL(P||Q)$ est

infini. Ainsi, lorsque $KL(P||Q) > 0$ (et n'est pas proche de 0), cela indique que Q est dissemblable par rapport à P .

La divergence de Kullback-Leibler a été proposée comme une mesure de « surprise bayésienne » [36]. Elle a été utilisée pour détecter la surprise dans des récits courts, démontrant qu'une modification de la prédiction du modèle correspond à une modification significative de l'évaluation des participants [15]. De plus, son utilisation a permis d'identifier des auteurs et des œuvres clés qui définissent les grandes orientations de l'évolution littéraire dans un vaste corpus de romans français du XIX^e et du début du XX^e siècle [5]. L'utilisation de cette divergence semble pertinente pour évaluer la nouveauté.

Enfin, certains auteurs ont proposé d'utiliser la complexité algorithmique comme critère d'attribution de la créativité [42, 45, 11]. La complexité de Kolmogorov conditionnelle est proposée pour évaluer la nouveauté. L'idée est qu'un artefact est de haute qualité s'il représente le fruit d'un effort de calcul significatif. Bien que théoriquement séduisante, cette approche est difficile à mettre en œuvre, même si des évaluations approximatives sont possibles en principe. Nous n'avons donc pas retenu cette option pour notre expérience, malgré le fait que des proportions analogiques puissent également être envisagées en termes de complexité de Kolmogorov [7, 47].

3 Inférence analogique et créativité

Nous rappelons d'abord la notion de proportions analogiques et leur modélisation booléenne, avant d'expliquer comment les utiliser à des fins d'inférence et de création. Nous concluons cette section par une étude théorique de leur potentiel créatif.

3.1 Proportions analogiques

Les proportions analogiques sont des énoncés reliant quatre entités de même nature. Ils sont de la forme « a est à b ce que c est à d ». En principe, ces entités peuvent être de toute nature : nombres, mots, images, phrases, etc. Les proportions analogiques sont apparues pour la première fois (du moins en Occident) avec Aristote, qui s'est inspiré des travaux de mathématiciens de son époque sur les proportions arithmétiques ($a - b = c - d$) et géométriques ($\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$). Ces proportions numériques égalisent respectivement les différences et les rapports. Aristote a étendu ce principe aux mots (ou concepts).

Comme on peut le constater, de telles proportions opèrent à la fois une comparaison au sein de paires et une comparaison entre paires. C'est précisément ce que signifie l'énoncé « a est à b ce que c est à d ». Une telle proportion est notée $a : b :: c : d$. Comme le suggère le parallèle avec les proportions numériques, les proportions analogiques sont censées obéir à trois postulats :

- $a : b : a : b$ (réflexivité)
- $a : b :: c : d \Rightarrow c : d :: a : b$ (symétrie)
- $a : b :: c : d \Rightarrow a : c :: b : d$ (permutation centrale)

Si les deux premiers postulats ne sont pas surprenants, la stabilité par permutation centrale semble inattendue. Ce-

a	b	c	d
0	0	0	0
1	1	1	1
0	0	1	1
1	1	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0

TABLE 1 – Table de vérité de $a : b :: c : d$

pendant, si l'on considère l'exemple suivant : « les chiots sont aux chiens ce que les chatons sont aux chats », il faut admettre que l'on peut aussi affirmer que « les chiots sont aux chatons ce que les chiens sont aux chats ».

L'application de la symétrie et de la permutation centrale (séquentiellement) montre qu'une proportion analogue satisfait aussi

- $a : a :: b : b$ (identité);
- $a : b :: c : d \Rightarrow d : b :: c : a$ (permutation externe);
- $a : b :: c : d \Rightarrow b : a :: d : c$ (renversement interne);
- $a : b :: c : d \Rightarrow d : c :: b : a$ (renversement complet).

On peut facilement vérifier que les propriétés ci-dessus s'appliquent à l'exemple « chats / chiens ».

Les entités que nous considérons sont des vecteurs de valeurs booléennes. Ainsi, chaque entité est représentée par un vecteur $\vec{a} = (a_1, \dots, a_n)$ où a_i est la valeur booléenne de la caractéristique/de l'attribut i . Les proportions analogiques entre les vecteurs (de même taille) sont définies composante par composante :

$\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}$ si et seulement si $\forall i \in \{1, \dots, n\}, a_i : b_i :: c_i : d_i$.

Nous considérons d'abord le cas d'une seule composante et de quatre variables booléennes représentant la valeur d'une caractéristique d'intérêt pour quatre éléments distincts.

Le postulat de réflexivité $a : b :: a : b$ impose qu'une proportion analogique booléenne soit vraie pour tous les a et tous les b , ce qui implique que les quatre valuations $(0, 0, 0, 0)$, $(0, 1, 0, 1)$, $(1, 0, 1, 0)$ et $(1, 1, 1, 1)$ doivent correspondre à des proportions analogiques vraies. En vertu du postulat de permutation centrale, le modèle booléen minimal qui satisfait les trois postulats est vrai pour les six configurations suivantes des variables booléennes a, b, c, d (et faux pour les $2^4 - 6 = 10$ autres configurations possibles) présentées dans la Table 1 [47].

La formule logique quaternaire suivante n'est vraie que pour les 6 configurations de valeurs ci-dessus (et donc fausse pour les 10 autres) [43] :

$$a : b :: c : d = ((a \wedge \neg b) \equiv (c \wedge \neg d)) \wedge ((\neg a \wedge b) \equiv (\neg c \wedge d)) \quad (1)$$

Cela exprime précisément que « a diffère de b comme c diffère de d , et b diffère de a comme d diffère de c » (et « lorsque a et b ne diffèrent pas, c et d ne diffèrent pas »).

Prenons l'exemple du chat et du chien : « un chiot est au chien ce qu'un chaton est au chat » pour illustrer la proportion analogique entre les vecteurs qui représentent les quatre animaux sur un ensemble de 6 attributs, ici mammifère, oiseau, canidé, félin, jeune, adulte, comme dans la Table 2.

	<i>mam.</i>	<i>ois.</i>	<i>canid.</i>	<i>félin</i>	<i>jeune</i>	<i>adult.</i>
chiot	1	0	1	0	1	0
chien	1	0	1	0	0	1
chaton	1	0	0	1	1	0
chat	1	0	0	1	0	1

TABLE 2 – *chiot : chien :: chaton : chat* : une validation booléenne

Comme on peut le constater, les attributs de l'exemple sont tels que chacun d'eux, verticalement, illustre l'un des 6 modèles de la Table 1. Cela confirme que la proportion analogique *chiot : chien :: chaton : chat* est respectée.

3.2 Inférence analogique

Étant donné un triplet $a, b, c \in \{0, 1\}^3$, on peut chercher $x \in \{0, 1\}$ tel que $a : b :: c : x$ soit vrai. D'après la Table de vérité 1, on peut vérifier que si une solution x existe, elle est unique, mais il existe deux cas où l'équation n'a pas de solution. En effet, il n'existe aucun $x \in \{0, 1\}$ tel que $1 : 0 :: 0 : x$ et $0 : 1 :: 1 : x$ soient des proportions analogiques vraies. On peut vérifier que l'équation analogique booléenne $a : b :: c : x$ est résoluble si et seulement si $(a \equiv b) \vee (a \equiv c)$ est vrai, où \equiv est le connecteur d'équivalence. Dans ce cas, la solution *unique* est donnée par $x = a \equiv (b \equiv c)$ (rappelons que \equiv est associatif); ainsi $x = b$ si $a = c$ et $x = c$ si $a = b$.

L'inférence par proportions analogiques, appliquée à la classification, repose sur un principe simple : si quatre vecteurs (booléens) $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ et \vec{d} forment une proportion analogique valide composante par composante pour chaque quadruplet de valeurs relatives au même attribut, alors on s'attend à ce que leurs étiquettes de classe forment également une proportion valide³ (par exemple, [10]).

$$\frac{\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}}{cl(\vec{a}) : cl(\vec{b}) :: cl(\vec{c}) : cl(\vec{d})} \quad (2)$$

Si les étiquettes de classe des vecteurs \vec{a}, \vec{b} et \vec{c} sont connues (c'est-à-dire qu'ils appartiennent à l'ensemble d'exemples), la classification d'un nouveau vecteur booléen \vec{d} est possible à l'aide de (2) uniquement si : i) l'équation $cl(\vec{a}) : cl(\vec{b}) :: cl(\vec{c}) : x$ est résoluble; et ii) la proportion analogique $\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}$ est vérifiée sur toutes les composantes. Si ces deux conditions sont remplies, $cl(\vec{d})$ est la solution unique de $cl(\vec{a}) : cl(\vec{b}) :: cl(\vec{c}) : x$. En pratique, il existe généralement plusieurs triplets $(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c})$, ce qui conduit à plusieurs solutions pour $cl(\vec{d})$, qui peuvent être différentes. Un vote majoritaire détermine alors la classe attribuée à \vec{d} . Cette procédure donne de bons résultats sur des benchmarks [10].

Dans [3], un schéma d'inférence légèrement différent a été proposé à des fins de créativité. À partir de trois éléments

3. De même que pour les valeurs d'attributs booléens, les seules proportions analogiques valides entre deux étiquettes de classe, éventuellement identiques, s et t , sont $s : t :: s : t$ et $s : s :: t : t$, tandis que $s : t :: t : x$ n'a pas de solution (sauf pour $s = t = x$).

$\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$, on peut construire un autre élément \vec{d} , à condition que pour chaque attribut i , l'équation booléenne analogique $a_i : b_i :: c_i : x_i$ soit résoluble, ce qui requiert que

$$(\vec{a} \equiv \vec{b}) \vee (\vec{a} \equiv \vec{c})$$

se vérifie composante par composante. Ceci peut se résumer par le schéma d'inférence suivant.

$$\frac{\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}}{\vec{d} = (\vec{a} \equiv \vec{b} \equiv \vec{c})} \quad (3)$$

On peut démontrer que \vec{d} est différent de $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$, pourvu que $\vec{a} \neq \vec{b}$ et $\vec{a} \neq \vec{c}$. La section suivante étudie de combien \vec{d} peut différer des trois autres vecteurs.

3.3 Une évaluation théorique de la créativité basée sur les proportions analogiques

Une proportion analogique $\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}$ établit un parallèle entre les paires (\vec{a}, \vec{b}) et (\vec{c}, \vec{d}) . Les 6 configurations du Tableau 1 qui rendent cette proportion analogique vraie nous permettent de partitionner les n attributs sur lesquels les éléments sont décrits ($\vec{a} = (a_1, \dots, a_n)$, $\vec{b} = (b_1, \dots, b_n)$, $\vec{c} = (c_1, \dots, c_n)$, $\vec{d} = (d_1, \dots, d_n)$) en 3 sous-ensembles :

- i) le sous-ensemble d'attributs i où $a_i = b_i = c_i = d_i = 1$ ou $a_i = b_i = c_i = d_i = 0$, c'est-à-dire où les quatre vecteurs $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$ sont égaux ;
- ii) le sous-ensemble d'attributs j où $a_j = b_j$ et $c_j = d_j$ mais $a_j \neq c_j$, c'est-à-dire où les vecteurs sont égaux au sein des paires (\vec{a}, \vec{b}) et (\vec{c}, \vec{d}) , mais pas de la même manière ;
- iii) le sous-ensemble d'attribut(s) k où $a_k = c_k$ et $b_k = d_k$, c'est-à-dire le sous-ensemble d'attributs dont la ou les valeurs changent, dans la même direction, de \vec{a} à \vec{b} et de \vec{c} à \vec{d} (les différences entre \vec{a} et \vec{b} et entre \vec{c} et \vec{d} sont identiques).

Ceci est illustré en Table 3.

vecteurs	Tous égaux	Egaux par paires	Diff. identiq.
\vec{a}	1 0	1 0	1 0
\vec{b}	1 0	1 0	0 1
\vec{c}	1 0	0 1	1 0
\vec{d}	1 0	0 1	0 1

TABLE 3 – Les 3 types de motifs dans une proportion analogique

Notons que la permutation centrale de \vec{b} et \vec{c} échange les deux dernières colonnes de la Table 3. Cela permet d'énoncer le résultat :

$$\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} Equ(\vec{a}, \vec{b}) = Equ(\vec{c}, \vec{d}) \\ Dif^{10}(\vec{a}, \vec{b}) = Dif^{10}(\vec{c}, \vec{d}) \\ Dif^{01}(\vec{a}, \vec{b}) = Dif^{01}(\vec{c}, \vec{d}) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Equ(\vec{a}, \vec{c}) = Equ(\vec{b}, \vec{d}) \\ Dif^{10}(\vec{a}, \vec{c}) = Dif^{10}(\vec{b}, \vec{d}) \\ Dif^{01}(\vec{a}, \vec{c}) = Dif^{01}(\vec{b}, \vec{d}) \end{cases}$$

où, étant donnés deux vecteurs $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$ et $\vec{y} = (y_1, \dots, y_n)$, on pose

$$\begin{aligned} Equ(\vec{x}, \vec{y}) &= \{i \mid x_i = y_i\} = Equ^0(\vec{x}, \vec{y}) \cup Equ^1(\vec{x}, \vec{y}), \\ Equ^0(\vec{x}, \vec{y}) &= \{i \mid x_i = y_i = 0\}, \\ Equ^1(\vec{x}, \vec{y}) &= \{i \mid x_i = y_i = 1\}, \end{aligned}$$

$$Dif^{10}(\vec{x}, \vec{y}) = \{i \mid x_i = 1, y_i = 0\},$$

$$Dif^{01}(\vec{x}, \vec{y}) = \{i \mid x_i = 0, y_i = 1\}.$$

La distance de Hamming entre \vec{a} et \vec{b} , $Ham(\vec{a}, \vec{b})$, est égale à la cardinalité de $Dif^{10}(\vec{a}, \vec{b}) \cup Dif^{01}(\vec{a}, \vec{b}) = Dif(\vec{a}, \vec{b})$.

Nous avons $Ham(\vec{a}, \vec{b}) = |Dif(\vec{a}, \vec{b})| \triangleq e$. Notons que $Ham(\vec{a}, \vec{b}) = Ham(\vec{c}, \vec{d})$. Soit $r =$

$|\{i \text{ t.q. } a_i = b_i = c_i = d_i = 1 \text{ ou } a_i = b_i = c_i = d_i = 0\}|$. Ainsi $Ham(\vec{c}, \vec{d}) = e$; $Ham(\vec{b}, \vec{d}) = n - e - r$; $Ham(\vec{a}, \vec{d}) = n - r$.

Si $e = 0$, $\vec{a} = \vec{b}$ et $\vec{c} = \vec{d}$; si $r + e = n$, $\vec{a} = \vec{c}$, $\vec{b} = \vec{d}$. Dans les deux cas, la proportion analogique $\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}$ est triviale : on obtient $\vec{a} : \vec{a} :: \vec{b} : \vec{b}$ ou $\vec{a} : \vec{b} :: \vec{a} : \vec{b}$. Si $r = n$, Les 4 items sont égaux.

Ainsi, \vec{d} est d'autant plus éloigné de \vec{a} et \vec{c} que r est petit et e est grand.

Mais si $r = 0$ et $e = n$, on obtient $Ham(\vec{b}, \vec{d}) = 0$. Il faut donc équilibrer de manière égale (ou presque égale, si n est impair) e et $n - e$, avec $r = 0$, si l'on veut maximiser la distance de \vec{d} à $\{\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}\}$ égale à $\min(e, n - e - r, n - r)$.

Si n est pair, la distance maximale est simplement $n/2$.

Le vecteur \vec{d} , entièrement obtenu à partir de $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$, peut donc être très différent de ces trois éléments, et par conséquent tout à fait nouveau par rapport à eux.

Ainsi, l'inférence analogique (3) apparaît comme une méthode pour explorer de manière contrôlée un univers de possibilités potentielles à partir des options existantes. Cette méthode est préférable à une sélection aléatoire des valeurs des attributs (comme proposé initialement dans [37]).

4 Cadre de l'expérimentation

Nous présentons ci-dessous une expérience illustrant l'efficacité du pouvoir créatif de l'inférence par analogie basée sur les proportions. Ce processus se déroule en deux étapes : la génération de prompts, puis la production de textes. La nouveauté est vérifiée tant au niveau des prompts qu'au niveau des textes. Nous présentons d'abord notre source d'inspiration pour cette expérience, avant d'expliquer comment l'inférence par analogie basée sur les proportions est utilisée pour créer les prompts, lesquels servent ensuite à générer les textes.

La source d'inspiration L'inspiration provient d'un livre célèbre de Raymond Queneau, *Exercices de style* [49], où l'auteur réécrit 99 fois la même histoire : un court texte où le narrateur monte dans un bus, assiste à une dispute entre un homme et un autre passager, puis revoit ce même homme deux heures plus tard, en train de demander conseil sur l'ajout d'un bouton à son pardessus. À chaque fois, l'histoire est réécrite dans un style différent.⁴ On peut y voir un exemple de créativité exploratoire (répétée) au sens où l'entend Boden.

Queneau est également célèbre pour un autre ouvrage [50], publié ultérieurement, qui illustre la créativité combina-

4. Il est à noter que des travaux récents [35] ont analysé, avec des embeddings, le style des *Exercices de style* (et aussi celui des *Nouvelles en trois lignes* de Félix Fénéon [29]) en le comparant à d'autres, montrant que le style rédactionnel influe sur la dispersion des embeddings, même si la variation thématique a un effet plus marqué.

toire. Ce livre est basé sur dix sonnets (poèmes de quatorze vers) dont chaque vers est imprimé sur une bande de papier épais. Les dix sonnets ont le même schéma de rimes et les mêmes sonorités. Ainsi, n’importe quel vers d’un sonnet peut être combiné avec un vers des neuf autres, permettant de créer 10^{14} poèmes différents. Ceci a conduit Queneau, avec le mathématicien François Le Lionnais, à fonder l’« Ouvroir de littérature potentielle » (Oulipo), réunissant un groupe de personnes intéressées par la littérature expérimentale.

Création des prompts Queneau, dans son ouvrage *Exercices de style* [49], varie le style à chaque réécriture de son récit, employant une grande variété de procédés rhétoriques. Pour notre expérience, nous transposons cette idée en choisissant un nombre limité de caractéristiques applicables à un texte. Nous utilisons 10 caractéristiques booléennes correspondant à la présence ou l’absence des 10 émotions suivantes : joie, peur, colère, tranquillité, nostalgie, honte, confusion, curiosité, amour et résignation.⁵ Ceci présente l’avantage de fournir des vecteurs qui : i) peuvent être traités par inférence analogique ; et ii) peuvent être associés à des prompts envoyés à un chatbot basé sur un LLM capable de générer un texte contraint.

Pour constituer un *ensemble inspirant* (représentant 10% de l’ensemble des vecteurs possibles), on construit un ensemble empirique initial de 100 vecteurs (à 10 composantes) pour notre expérience ; pour ce faire nous partons d’un ensemble de 11 vecteurs : le vecteur $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ et les 10 vecteurs comportant un seul ‘1’ (et 9 ‘0’) correspondant à chaque caractéristique. Il existe $2^{10} = 1024$ vecteurs booléens distincts à 10 composantes. Afin d’obtenir les $100 - 11 = 89$ vecteurs manquants de l’ensemble initial, nous avons procédé comme suit. Pour compléter l’ensemble initial, nous ajoutons les vecteurs un par un à l’ensemble de départ. A chaque étape, à l’ensemble de vecteurs courant, on associe une distribution de probabilité décrivant la probabilité d’obtenir n’importe quelle combinaison de valeurs de caractéristiques en utilisant cet ensemble comme échantillon. Le principe consiste à utiliser la distribution de probabilité de l’ensemble courant et à ajouter un vecteur (n’appartenant pas encore à l’ensemble) de manière à minimiser l’entropie de Shannon de l’ensemble résultant. Cette procédure s’arrête lorsque l’ensemble courant contient 100 vecteurs. Cet ensemble joue le rôle de l’ensemble inspirant. Appelons-le \mathcal{I} . Notons que \mathcal{I} est relativement « homogène », en ce sens qu’il regroupe les vecteurs contenant peu de ‘1’.

À partir de l’ensemble \mathcal{I} , nous générons un ensemble de sortie \mathcal{O} par inférence analogique. Pour ce faire, nous utilisons des triplets de vecteurs $(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c})$ appartenant à \mathcal{I}^3 afin d’appliquer le schéma d’inférence (3). Nous appliquons une procédure semi-guidée en sélectionnant la paire candidate

(\vec{a}, \vec{b}) qui servira ensuite à former les triplets, comme expliqué dans le paragraphe suivant. Ensuite, nous générons toutes les sorties possibles \vec{d} pouvant être obtenues à partir d’une paire sélectionnée et d’un vecteur compatible \vec{c} (c’est-à-dire un vecteur \vec{c} pour lequel l’équation de proportion $\vec{a} : \vec{b} : \vec{c} : x$ admet une solution), en appliquant l’inférence analogique (3). Ceci constitue l’ensemble \mathcal{O} .

La sélection des paires (\vec{a}, \vec{b}) garantit que le nombre de ‘1’ dans \vec{b} augmente par rapport à \vec{a} : cela signifie que $\forall i, a_i = 1 \Rightarrow b_i = 1$ et $\exists j, a_j = 0$ et $b_j = 1$. L’idée est que si une propriété est acquise lors du passage de \vec{a} à \vec{b} , elle le sera également lors du passage de \vec{c} à \vec{d} (puisque 01 ne peut être complété que par 01 pour obtenir une proportion valide). De plus, le motif 1010, correspondant pour \vec{b} et \vec{d} à la perte répétée d’une propriété, est alors interdit. Cela ne signifie toutefois pas que \vec{d} hérite de toutes les propriétés de \vec{b} , puisque 11 peut être complété par 11 mais aussi par 00 pour obtenir un motif de proportion analogique valide. Ce dernier point montre que le mécanisme analogique n’est pas une simple procédure d’enrichissement de propriétés, mais qu’il parvient également à construire un ensemble renouvelé de résultats à partir de l’ensemble initial, même si nous privilégions certaines paires et interdisons l’utilisation du motif 1010 dans l’inférence. En définitive, nous privilégions un ensemble de résultats constitué de nouveaux vecteurs enrichis, distincts et indépendants de l’ensemble initial.

Partant d’un ensemble \mathcal{I} de taille 100, l’inférence analogique conduit à un ensemble \mathcal{O} de taille approximativement 150. Chacun de ces deux ensembles peut être associé à une distribution de probabilité. Nous sommes alors en mesure de calculer la dissimilarité, ou divergence, entre les distributions $p_{\mathcal{I}}$ et $p_{\mathcal{O}}$ associées respectivement à \mathcal{I} et \mathcal{O} .

Exploitation des prompts Les vecteurs des ensembles \mathcal{I} et \mathcal{O} servent de base à la construction de prompts destinés à être traités par un modèle de langage étendu (LLM) afin de générer un texte associé à chaque vecteur. En raison de l’existence d’une correspondance entre les éléments des vecteurs et la présence ou l’absence d’une émotion, la construction des prompts s’effectue en préétabliant un texte à l’avance, comportant dix variables à instancier. Ces variables sont remplacées par les chaînes de caractères « true » ou « false » en fonction de la valeur binaire de l’élément correspondant. Un exemple de prompt est présenté à la page 8. La soumission du prompt à un modèle de langage génère par la suite un texte associé à chaque vecteur.

Ces textes peuvent ensuite être lemmatisés et des n -grammes extraits (pour des valeurs fixes de n) afin de calculer une distribution de probabilité des n -grammes pour les textes générés à partir de \mathcal{I} , et une autre pour ceux générés à partir de \mathcal{O} . Ceci permet de tester, au niveau textuel, si des nouveautés sont décelables dans les textes issus de \mathcal{O} par rapport à ceux issus de \mathcal{I} .

Pour la génération de texte, nous avons utilisé LLaMA 3. LLaMA 3 est un modèle de langage de dernière génération développé par Meta AI, conçu pour repousser les li-

5. Ce choix peut paraître quelque peu arbitraire, même s’il recoupe largement les 16 émotions de base préconisées dans [25]. Notons qu’il s’agit ici moins des émotions ressenties par les individus que d’un texte censé communiquer certains sentiments au lecteur. Le nombre (10) a été choisi car suffisamment grand pour assurer la variété, sans pour autant être trop élevé afin de limiter le coût de calcul.

mites de la génération de texte naturel grâce à une architecture sophistiquée et un grand nombre de paramètres (8 milliards). Ce modèle fait partie de la série LLaMA (Large Language Model Meta AI), qui se distingue par sa capacité à comprendre et à générer du texte de manière cohérente et contextuellement appropriée.

À titre d'avertissement, nous tenons à souligner que notre objectif n'était en aucun cas de tester la qualité des textes produits par LLaMA 3. LLaMA 3 est utilisé ici uniquement comme outil de production de textes courts, contraints de suivre la trame narrative d'une histoire banale – librement inspirée de celle qui ouvre les *Exercices de style* de Queneau – incluant ou non une série de 10 émotions. L'objectif est de constituer deux ensembles de textes, associés respectivement aux ensembles de vecteurs de \mathcal{I} et \mathcal{O} . Il s'agit de vérifier si la nouveauté potentielle au niveau vectoriel se reflète ou non au niveau textuel. La trame narrative est spécifiée à LLaMA 3 par l'échange suivant :

user: I will give you a story and you'll have to tell me the main route of the story in a paragraph (don't jump lines keep it all together) okay?

assistant: Sounds like fun! I'm ready to hear your story. Please go ahead and share it, and I'll do my best to summarize the main route of the story in one paragraph. Go!

user: An individual boards a public transportation vehicle. His figure blends into the mass of anonymous passengers. His gaze wanders, observing the familiar faces distantly. Suddenly, a peculiarity catches his attention: a man adorned with an unusual headgear, a felt hat of austere gray, perched majestically atop his head. And there, an irregularity, a disturbance in the usual landscape: a fly, intrepid explorer, ambles nonchalantly on the nape of this impassive man. A shiver of curiosity runs through him. A question nags at his mind: should he intervene? A decision takes shape in the meanders of his thought. Does the man, this bearer of felt, deserve his attention? Is it a mere accident or a sign from destiny? An irrepressible impulse propels him to act. He rises, approaches with determination. A brief, incisive exchange, punctuated by abrupt gestures, suffices to draw the attention of the man, but in a markedly different register. A reprimand escapes his lips, cutting, imbued with thinly veiled arrogance. And the fly? It continues its journey, indifferent to this human theater, oblivious to its involuntary role in this fleeting scene

of daily life

assistant: As an individual boards a public transportation vehicle, he becomes distracted by a peculiar sight: a man wearing an unusual gray felt hat and sporting an intrepid fly on his neck. The individual's curiosity is piqued, and he begins to wonder if the situation warrants intervention. As he rises from his seat and approaches the man, he delivers a reprimanding remark laced with arrogance, drawing the attention of the hat-wearing individual in a completely different register than anticipated. Meanwhile, the fly remains oblivious to its role in this brief and fleeting drama that plays out amidst the daily routines of the anonymous passengers.

Ainsi, le prompt correspondant au vecteur initial $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ est

user: Redo the main route you mentioned before transforming it in a way that dimension Joy is false, Fear is false, Anger is false, Tranquility is false, Nostalgia is false, Shame is false, Confusion is false, Curiosity is false, Love is false, Resignation is false. (don't write any of this words in the paragraph (Joy, Fear, Anger, Tranquility, Nostalgia, Shame, Confusion, Curiosity, Love, Resignation) and don't write (True or false) either.

5 Résultats expérimentaux

Tout d'abord, la comparaison des collections de vecteurs \mathcal{I} et \mathcal{O} dans l'expérience a donné les résultats suivants en termes de distance de Hellinger et de divergence de Kullback-Leibler :⁶

$$H(p_{\mathcal{I}}, p_{\mathcal{O}}) = 0.8625; \quad KL(p_{\mathcal{I}}||p_{\mathcal{O}}) = 0.6778$$

Comme on peut le constater, la nouveauté de l'ensemble de sortie \mathcal{O} par rapport à l'ensemble d'origine \mathcal{I} est clairement mise en évidence par la valeur élevée de la distance de Hellinger (dont le maximum possible est 1). Ceci est confirmé par l'évaluation de la divergence. Il convient toutefois de noter qu'ici, les vecteurs \vec{d} de \mathcal{O} ne maximisent pas nécessairement leur différence avec les vecteurs \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} de \mathcal{I} dont ils sont issus, au sens de la sous-section 3.3.

Le texte produit par LLaMA 3 à partir du prompt associé au vecteur initial $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ est

assistant: As the individual steps onto the public transportation vehicle, his gaze drifts across the familiar faces, but one peculiarity stands out: a man

6. Le code et les données sont disponibles ici : <https://github.com/Sasufox/AnalogyStories>

clad in an austere gray felt hat, with an intrepid explorer of a different kind - a fly - perched nonchalantly on the nape of his neck. The individual's thoughts begin to weave a tapestry of inquiry, and he rises from his seat with purpose, approaching the hat-wearer with determination. A brief, incisive exchange ensues, punctuated by swift gestures, as the two individuals intersect in a fleeting dance of daily life.

Ce texte est assez court et dépourvu d'émotion particulière. À titre d'exemple, voici le texte produit lorsque les émotions Confusion, Curiosité et Résignation sont requises (le prompt correspond au vecteur $(0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1)$) : As he boards the public transportation vehicle, his gaze drifts across the sea of anonymous faces, his mind a maze of contradictions. A peculiar sight captures his attention: a man's austere gray hat, a fly's leisurely stroll on the nape of his neck. His thoughts twist and turn, unsure whether to intervene or simply observe. The air is thick with uncertainty as he approaches the man, his words laced with an unexpected tone that belies the calm exterior. Meanwhile, the fly continues its aimless flight, seemingly unaware of the complex emotions swirling around it, leaving only a lingering sense of disorientation in its wake.

Comme on peut le constater, la rédaction du nouveau texte a été transformée, tout en conservant la même trame narrative. Conformément aux attentes, l'ensemble des textes associés à \mathcal{O} diffère de celui associé à \mathcal{I} . Ceci peut être vérifié à l'aide de la distance de Hellinger (qui a l'avantage d'être bornée) entre les distributions de probabilité des n -grammes dans les deux ensembles. Les résultats obtenus pour $n = 2$, $n = 3$ et $n = 4$ sont les suivants :

$$H(p_{\mathcal{I}}^{2\text{-gram}}, p_{\mathcal{O}}^{2\text{-gram}}) = 0.3947; H(p_{\mathcal{I}}^{3\text{-gram}}, p_{\mathcal{O}}^{3\text{-gram}}) = 0.6279; H(p_{\mathcal{I}}^{4\text{-gram}}, p_{\mathcal{O}}^{4\text{-gram}}) = 0.7690.$$

Ceci confirme la nouveauté des textes de \mathcal{O} par rapport à ceux de \mathcal{I} . Cependant, il a été noté [14] que les modèles de langage de grande taille avancés obtiennent d'excellents résultats sur des tâches d'associations sémantiques divergentes, ce qui suggère une capacité de créativité. La production de textes par les modèles de langage de grande taille étant basée sur un mécanisme aléatoire, on peut mesurer la distance entre les récits générés à partir d'un même vecteur de la manière suivante. À partir d'un échantillon représentatif (de taille 280) des 1024 vecteurs, 100 textes sont générés pour chaque vecteur. Pour chacune de ces collections, un texte est choisi comme référence et comparé aux autres textes. La distance de Hellinger entre la collection de textes de référence et la collection des autres textes peut alors être calculée. Les résultats suggèrent que LLaMA gé-

nère un grand nombre de n -grammes qui ne sont pas présents simultanément dans deux documents générés à partir du même vecteur. Ainsi, la nature aléatoire du LLM rend difficile de déterminer précisément la part de nouveauté apportée par l'utilisation d'une nouvelle consigne.

6 Discussion finale

Dans l'introduction, nous avons distingué trois types de raisonnement analogique : i) celui, parfois appelé « fusion conceptuelle », qui relie deux situations appartenant à des univers différents, comme dans l'analogie entre l'atome et le système solaire ; ii) le raisonnement à partir de cas, qui extrapole à une nouvelle situation ce qui a été observé dans un cas similaire ; iii) la résolution d'équations de proportions analogiques, qui produit un quatrième élément à partir de trois autres, comme dans les puzzles analogiques. Le premier type correspond à l'analogie transformationnelle ; le deuxième peut à peine être qualifié de créatif puisqu'il s'agit essentiellement d'adapter quelque chose de déjà connu ; le dernier type est une forme d'analogie exploratoire, où un univers (celui qui peut être décrit au moyen des attributs utilisés pour représenter les éléments considérés) est exploré.

Contrairement à un parcours purement aléatoire dans l'univers des caractéristiques booléennes, cet univers peut être exploré de manière contrôlée grâce à l'inférence basée sur les proportions analogiques, par exemple en favorisant l'accumulation de propriétés pertinentes. De manière générale, les proportions analogiques $\vec{a} : \vec{b} :: \vec{c} : \vec{d}$ garantissent que les différences entre \vec{a} et \vec{b} sont préservées entre \vec{c} et \vec{d} . L'expérience a montré que même si l'ensemble d'inspiration (où $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ sont pris) est composé d'éléments relativement proches, la nouveauté de \vec{d} peut être établie en termes de distance de Hellinger. Si les vecteurs décrivaient des options à un méta-niveau, le mécanisme d'inférence pourrait être utilisé pour une créativité transformationnelle (considérée comme une créativité exploratoire à ce méta-niveau).

Dans notre expérience, nous avons utilisé la minimisation de l'entropie de Shannon afin de construire un ensemble inspirant suffisamment homogène. Cela n'empêche pas le mécanisme d'inférence analogique de produire des vecteurs inédits, clairement extérieurs à cet ensemble. Il est évident que le choix de l'ensemble inspirant influence les résultats obtenus. L'utilisation de procédures de sélection en complément du mécanisme d'inférence, afin de démarrer avec des éléments « inspirants », constitue une piste importante à explorer dans de futures recherches. D'autres contraintes pourraient être envisagées pour la construction de cet ensemble.

L'expérience a démontré comment les vecteurs générés peuvent servir de base à des requêtes adressées à un chatbot basé sur un LLM, aboutissant à la production de textes « contraints » où la nouveauté inhérente au vecteur généré est partiellement préservée. Comme suggéré précédemment dans [3], l'inférence par proportions analogiques peut être utilisée pour proposer de nouveaux éléments. La combinai-

son du raisonnement analogique et des capacités de production textuelle basées sur un LLM constitue un outil de création.

Les *Exercices de style* de Queneau offrent un excellent exemple de créativité exploratoire, tout comme ses *Cent mille milliards de poèmes* [50] illustrent parfaitement l'idée de créativité combinatoire dans le domaine littéraire. Cependant, la remarquable créativité de Queneau réside dans la conception même de ces deux ouvrages, c'est-à-dire dans le dispositif lui-même. Il est intéressant de noter que la créativité de Queneau dans les *Exercices de style* est peut-être discutable, puisque Desiderius Erasmus, dans son manuel de rhétorique *De Copia* de 1512, donnait des instructions sur la manière de varier l'écriture. Ainsi, au chapitre 33, il propose 195 variations sur la même phrase (latine) signifiant « Votre lettre m'a fait très plaisir ». Queneau s'est également beaucoup intéressé à l'un des premiers recueils publiés de poésie informatique [6], où la créativité est combinatoire et l'association de mots, appartenant à un vocabulaire restreint, aléatoire. Ses commentaires, rassemblés à la fin de l'ouvrage parmi de nombreuses autres réactions d'écrivains et de linguistes, en témoignent. Il s'interroge notamment sur la possibilité pour les humains de distinguer les phrases produites par la machine de celles écrites par des poètes surréalistes, par exemple – une forme de test de Turing !

7 Conclusion

Cet article s'est concentré sur la capacité créative de l'inférence par proportions analogiques. Il apporte plusieurs contributions : premièrement, nous avons mis en évidence et illustré le potentiel créatif de cette inférence. Deuxièmement, l'évaluation de la nouveauté des résultats a été confirmée expérimentalement par les mesures de divergence appliquées aux prompts générés. La distance de Hellinger, dont les valeurs se situent dans un intervalle borné, semble particulièrement appropriée. De plus, l'expérience a également démontré la possibilité de combiner l'inférence analogique et les chatbots basés sur les LLM, tout en préservant le potentiel créatif.

Par ailleurs, plusieurs pistes de recherche méritent d'être explorées. Premièrement, le mécanisme analogique utilisé repose uniquement sur des proportions booléennes. Il pourrait être intéressant d'utiliser des proportions analogiques graduées étendues à des données numériques [24] ou la logique floue [16], par exemple pour introduire une représentation graduée des émotions dans notre expérience. De plus, dans cet article, nous nous sommes concentrés sur l'évaluation de la nouveauté des productions, mais on pourrait également vérifier la qualité des textes obtenus en estimant, à l'aide d'un lexique approprié, si ces textes contiennent effectivement des mots liés aux émotions requises par les consignes [44], ou des représentations appropriées basées sur les émotions [48]. Enfin, il peut être intéressant de comparer les résultats obtenus avec des prompts générés de manière analogique et ceux obtenus en générant directement par LLM des textes à partir de triplets d'exemples. En l'ab-

sence d'expérience directe, toute spéculation quant aux résultats qu'on obtiendrait demeure hypothétique, d'autant plus que le triplet d'exemples employé peut influencer significativement le résultat. Il est toutefois à noter que notre méthodologie contraint le modèle de langage de grande taille à exploiter l'ensemble des termes situés dans une région spécifique de l'espace de plongements associée à une émotion, tout en augmentant la diversité comme attesté par l'augmentation de la distance de Hellinger.

Le processus expérimental décrit dans cet article doit être vu comme un outil d'aide à la création plutôt que comme une machinerie créative par elle-même. En effet, de même que la créativité de Queneau dans les *Exercices de style* réside d'abord dans l'idée de produire de multiples versions d'un texte banal, jouant le rôle d'une contrainte de référence, toute en utilisant en même temps des contraintes de style différentes, ici l'utilisateur décide des paramètres à faire varier dans les textes à produire, il utilise ensuite l'inférence analogique pour explorer l'espace des possibles pour déterminer la contrainte spécifiant les paramètres qui induiront le prompt à appliquer au LLM.

Remerciements

Cette recherche a été financée par le projet de l'ANR "Analogies : from Theory to Tools and Applications" (AT2TA), ANR-22-CE23-0023.

Références

- [1] Agnar Aamodt and Enric Plaza. Case-based reasoning; foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AICom*, 7, 39-59, 1994.
- [2] Stergos Afantenos, Leonardo Cortez Bernardes, and Henri Prade. Measuring analogical creativity - an experiment. In Hannu Toivonen, Anna Kantosalo, and Hugo Gonçalo Oliveira, editors, *Proc. 17th Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC'26)*, Coimbra, June 29 - July 3, 2026.
- [3] Stergos Afantenos, Henri Prade, Gilles Richard, and Leonardo Bernardes. Analogical proportions and creativity : A preliminary study. In Kazjon Grace, Maria Teresa Llano, Pedro Martins, and Maria M. Hedblom, editors, *Proc. 15th Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC'24)*, Jönköping, pages 289-298, 2024.
- [4] Nelly Barbot, Laurent Miclet, and Henri Prade. Analogy between concepts. *Artif. Intell.*, 275 :487-539, 2019.
- [5] Jean Barré and Thierry Poibeau. Beyond canonicity. modeling literary change in french novelist production : Canon vs. archive. In Artjoms Sela, Fotis Jannidis, and Iza Romanowska, editors, *Proc. Computational Humanities Research Conf., Paris, Dec. 6-8, CEUR Workshop Proc.*, 3558, 814-830, 2023.
- [6] Jean Baudot. *La Machine à Ecrire mise en marche et programmée par Jean A. Baudot*. Editions du Jour, collection 'Les poètes du jour', Montréal, 1964. 'Le

- premier recueil de vers libres rédigés par un ordinateur électronique’, 96p.
- [7] Meriam Bayouhdh, Henri Prade, and Gilles Richard. Evaluation of analogical proportions through Kolmogorov complexity. *Knowl. Based Syst.*, 29 :20–30, 2012.
- [8] Margaret A. Boden, editor. *Dimensions of Creativity*. MIT Press, 1994.
- [9] Margaret A. Boden. *The Creative Mind - Myths and Mechanisms (2. ed.)*. Routledge, 2003. 1st ed., Basic Books, 1990.
- [10] Myriam Bounhas, Henri Prade, and Gilles Richard. Analogy-based classifiers for nominal or numerical data. *Int. J. Approx. Reason.*, 91 :36–55, 2017.
- [11] Daniel G. Brown and Dan Ventura. Ethics, aesthetics and computational creativity. In Maria M. Hedblom, Anna Aurora Kantosalu, Roberto Confalonieri, Oliver Kutz, and Tony Veale, editors, *Proc. 13th Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC’22), Bozen-Bolzano, June 27 - July 1*, pages 150–158, 2022.
- [12] Bruce Buchanan. Creativity at the meta-level. *AI Magazine*, 22 :13–28, 2001.
- [13] Alan Bundy. What is the difference between real creativity and mere novelty? *Behavioral and Brain Sciences*, 17 :533–534, 1994.
- [14] Honghua Chen and Nai Ding. Probing the creativity of large language models : Can models produce divergent semantic association? *CoRR*, abs/2310.11158, 2023. Published in Findings of EMNLP 2023.
- [15] Patrick Chieppe, Penny Sweetser, and Eryn Newman. Bayesian modelling of the well-made surprise In Maria M. Hedblom, Anna Aurora Kantosalu, Roberto Confalonieri, Oliver Kutz, and Tony Veale, editors, *Proc. 13th Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC’22), Bozen-Bolzano, Jun.27-Jul. 1*, pages 126–135, 2022.
- [16] Moreno Colombo, Sara D’Onofrio, and Edy Portmann. Integration of fuzzy logic in analogical reasoning : A prototype. In *Proc. 16th IEEE Int. Conf. Intelligent Computer Communic. and Processing (ICCP’20), Cluj-Napoca, Sept. 3-5*, pages 5–11, 2020.
- [17] Simon Colton, Alison Pease, and Graeme D. Ritchie. The effect of input knowledge on creativity. In *Proc. Workshop on Creative Systems : Approaches to Creativity in AI and Cognitive Science, at 4th Int. Conf. on Case-Based Reasoning, Vancouver, July 31*, 2001.
- [18] Simon Colton and Geraint A. Wiggins. Computational creativity : The final frontier? In Luc De Raedt, Christian Bessiere, Didier Dubois, Patrick Doherty, Paolo Frasconi, Fredrik Heintz, and Peter J. F. Lucas, editors, *Proc. 20th Europ. Conf. on Artificial Intelligence (ECAI’12), Montpellier, Aug. 27-31*, volume 242 of *Frontiers in Artif. Intellig.and Appl.*, pages 21–26. IOS Press, 2012.
- [19] Michael Cook and Simon Colton. Automated collage generation - With more intent. In D. Ventura *et al.*, editor, *Proc. 2nd Int. Conf. on Computational Creativity, Mexico City, April 27-29*, pages 1–3, 2011.
- [20] Edward de Bono. *The Use of Lateral Thinking*. Avon Books, 1971.
- [21] Ramón López de Mántaras. It don’t mean A thing (if it ain’t got that swing). In Henri Prade, editor, *Proc. 13th Europ. Conf. on Artificial Intelligence, Brighton, Aug. 23-28*, pages 694–696. John Wiley and Sons, 1998.
- [22] Roy Dreistadt. An analysis of the use of analogies and metaphors in science. *The J. of Psychology*, 68 :97–116, 1968.
- [23] Roy Dreistadt. The use of analogies and incubation in obtaining insights in creative problem solving. *The J. of Psychology*, 71 :159–175, 1969.
- [24] Didier Dubois, Henri Prade, and Gilles Richard. Multiple-valued extensions of analogical proportions. *Fuzzy Sets Syst.*, 292 :193–202, 2016.
- [25] Paul Ekman. Basic emotions. In T. Dalgleish and M. J. Power, editors, *Handbook of Cognition and Emotion*, page 45–60. John Wiley Sons Ltd, 1999.
- [26] Brian Falkenhainer, Kenneth D. Forbus, and Dedre Gentner. The structure-mapping engine : algorithm and examples. *Artif. Intell.*, 41(1) :1–63, 1989.
- [27] Benjamin Fele, Jan Babic, Senja Pollak, and Martin Znidarsic. Evaluation of curriculum learning algorithms using computational creativity inspired metrics. In Maria M. Hedblom, Anna Aurora Kantosalu, Roberto Confalonieri, Oliver Kutz, and Tony Veale, editors, *Proc. 13th Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC’22), Bozen-Bolzano, June 27 - July 1*, pages 364–373, 2022.
- [28] Béatrice Fuchs, Jean Lieber, Laurent Miclet, Alain Mille, Amedeo Napoli, Henri Prade, and Gilles Richard. Case-based reasoning, analogy, and interpolation. In *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research : Vol. 1 : Knowledge Representation, Reasoning and Learning*, pages 307–339. Springer, 2020.
- [29] Félix Fénéon. *Oeuvres*. Gallimard, 1948. Il existe de nombreuses éditions séparées des *Nouvelles en trois lignes* comme celle publiée dans la collection de poche Libretto en 2019.
- [30] Dedre Gentner. Structure-mapping : A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2) :155–170, 1983.
- [31] Helmar Gust, Kai-Uwe Kühnberger, and Ute Schmid. Metaphors and heuristic-driven theory projection (HDTP). *Theo. Comput. Sci.*, 354(1) :98–117, 2006.
- [32] Diane F. Halpern. Analogies as a critical thinking skill. In Dale Berger, Kathy Pezdek, and William Banks, editors, *Applications of Cognitive Psychology : Problem Solving, Education, and Computing*. 75-86, Routledge, 1986.

- [33] Mary Hesse. On defining analogy. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 60 :79–100, 1959.
- [34] John E. Hummel and Keith J. Holyoak. Distributed representations of structure : a theory of analogical access and mapping. *Psychological Review*, 104(3) :427–466, 1997.
- [35] Benjamin Icard, Evangelia Zve, Lila Sainero, Alice Breton, and Jean-Gabriel Ganascia. Embedding style beyond topics : Analyzing dispersion effects across different language models. In Owen Rambow, Leo Wanner, Marianna Apidianaki, Hend Al-Khalifa, Barbara Di Eugenio, and Steven Schockaert, editors, *Proc. 31st Int. Conf. on Computational Linguistics (COLING’25)*, Abu Dhabi, Jan. 19-24, pages 3511–3522. Association for Computational Linguistics, 2025.
- [36] Laurent Itti and Pierre Baldi. Bayesian surprise attracts human attention. *Vision Research*, 49 :1295–1306, 2009.
- [37] Arnold Kaufmann. L’imagination artificielle - (heuristique automatique). *Revue française d’Automatique, d’Informatique et de Recherche Opérationnelle (R.A.I.R.O.) - Recherche opérationnelle*, 3(3) :5–24, 1969.
- [38] Janet L. Kolodner. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann, 1993.
- [39] Solomon Kullback and Richard A. Leibler. On information and sufficiency. *The Annals of Mathematical Statistics*, 22 :79–86, 1951.
- [40] Mary Lou Maher. Evaluating creativity in humans, computers, and collectively intelligent systems. In Bo T. Christensen, Tore Kristensen, and Suzan Boztepe, editors, *Proc. 1st DESIRE Network Conf. on Creativity and Innovation in Design*, Aarhus, Aug. 16-17, pages 22–28. ACM, 2010.
- [41] Jon McCormack and Mark d’Inverno, editors. *Computers and Creativity*. Springer, 2012.
- [42] Simon McGregor. Algorithmic information theory and novelty generation. In *Proc. 4th Int. Joint Workshop on Computational Creativity, London, June 17-19*, page 109–112, 2007.
- [43] Laurent Miclet and Henri Prade. Handling analogical proportions in classical logic and fuzzy logics settings. In *Proc. 10th Eur. Conf. on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU’09)*, Verona, pages 638–650. Springer, LNCS 5590, 2009.
- [44] Saif Mohammad. Obtaining reliable human ratings of valence, arousal, and dominance for 20,000 English words. In Iryna Gurevych and Yusuke Miyao, editors, *Proc. 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Vol. 1 : Long Papers)*, pages 174–184, Melbourne, July 2018.
- [45] Tiasa Mondol and Daniel G. Brown. Incorporating algorithmic information theory into fundamental concepts of computational creativity. In Andrés Gómez de Silva Garza, Tony Veale, Wendy Aguilar, and Rafael Pérez y Pérez, editors, *Proc. 12th Int. Conf. on Computational Creativity, (ICCC’21), Mexico City, (virtual), Sept. 14-18*, pages 173–181, 2021.
- [46] George Polya. *Mathematics and Plausible reasoning. Volume 1 : Induction and Analogy in Mathematics*. Princeton University Press, 1954.
- [47] Henri Prade and Gilles Richard. Analogical proportions : From equality to inequality. *Int. J. Approx. Reason.*, 101 :234–254, 2018.
- [48] Xiangyu Qin, Zhiyu Wu, Tingting Zhang, Yanran Li, Jian Luan, Bin Wang, Li Wang, and Jinshi Cui. BERT-ERC : fine-tuning bert is enough for emotion recognition in conversation. In *Proc. 37th AAAI Conf. on Artificial Intelligence, AAAI’23/IAAI’23/EAAI’23*. AAAI Press, 2023.
- [49] Raymond Queneau. *Exercices de Style*. Gallimard, 1947. Exercises in Style, translation by B. Wright, Gaberbocchus Press, 1958.
- [50] Raymond Queneau. *Cent Mille Millions de Poèmes*. Gallimard, 1961. Postface : F. LeLionnais. Trad. anglaise : S. Chapman, ‘A Hundred Thousand Billion Poems’.
- [51] Geber L. Ramalho and Jean-Gabriel Ganascia. The role of musical memory in creativity and learning : A study of jazz performance. In Matt Smith, Alan Smaill, and Geraint A. Wiggins, editors, *Music Education : An Artificial Intelligence Approach, Proceedings of a Workshop held as part of AI-ED 93, World Conf. on Artificial Intelligence in Education, Edinburgh, 25 Aug.*, Workshops in Computing, pages 143–156. Springer, 1993.
- [52] Geber L. Ramalho and Jean-Gabriel Ganascia. Simulating creativity in jazz performance. In Barbara Hayes-Roth and Richard E. Korf, editors, *Proc. 12th National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI’94)*, Seattle, Jul. 31 - Aug. 4, Volume 1, pages 108–113. AAAI Press / The MIT Press, 1994.
- [53] Mel Rhodes. An analysis of creativity. *Phi Delta Kappan*, 42 :305–310, 1961.
- [54] Graeme Ritchie. Assessing creativity. In *Proc. of the AISB Symp. on Artificial Intelligence and Creativity in Arts and Science, York*, pages 3–11, 2001.
- [55] Graeme Ritchie. The transformational creativity hypothesis. *New Generation Computing*, 24 :241–266, 2006.
- [56] Graeme Ritchie. Some empirical criteria for attributing creativity to a computer program. *Minds Mach.*, 17(1) :67–99, 2007.
- [57] Graeme Ritchie. A closer look at creativity as search. In Mary Lou Maher, Kristian J. Hammond, Alison Pease, Rafael Pérez y Pérez, Dan Ventura, and Geraint A. Wiggins, editors, *Proc. 3rd Int. Conf. on Computational Creativity (ICCC’12)*, Dublin, May 30 - June 1, pages 41–48, 2012.

- [58] Luís Espírito Santo, Geraint A. Wiggins, and Amílcar Cardoso. Towards a formal creativity theory : Preliminary results in novelty and transformativeness. *CoRR*, abs/2405.02148, 2024.
- [59] Roger Schank and Alex Kass. Explanations, machine learning, and creativity. In Yves Kodratoff and Ryszard S. Michalski, editors, *Machine Learning : an Artificial Intelligence Approach, vol. III*, page 31–59. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1990.
- [60] Jürgen Schmidhuber. Simple algorithmic principles of discovery, subjective beauty, selective attention, curiosity & creativity. In Vincent Corruble, Masayuki Takeda, and Einoshin Suzuki, editors, *Proc. 10th Int. Conf. on Discovery Science (DS'07), Sendai, Oct. 1-4*, LNCS, pages 26–38. Springer, 2007.
- [61] Jürgen Schmidhuber. Formal theory of creativity, fun, and intrinsic motivation (1990-2010). *IEEE Trans. on Autonomous Mental Development*, 2(3) :230–247, 2010.
- [62] Martin Schmidt, Ulf Krumnack, Helmar Gust, and Kai-Uwe Kühnberger. Heuristic-driven theory projection : An overview. In Henri Prade and Gilles Richard, editors, *Computational Approaches to Analogical Reasoning : Current Trends*, Studies in Comput. Intelligence, 548, 163-194. Springer, 2014.
- [63] Mark Turner and Gilles Fauconnier. *The Way We Think : Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities*. Basic Books, 2003.
- [64] Tim Van de Cruys. Artificial intelligence and literature. In Pierre Marquis, Odile Papini, and Henri Prade, editors, *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research : Volume III : Interfaces and Applications of Artificial Intelligence*, pages 487–501. Springer, 2020.
- [65] Manuela M. Veloso. Prodigy/analogy : Analogical reasoning in general problem solving. In Stefan Wess, Klaus-Dieter Althoff, and Michael M. Richter, editors, *Topics in Case-Based Reasoning, 1st Europ. Workshop (EWCBR'93), Kaiserslautern, Nov. 1-5, Selected Papers*, LNCS, 837, 33-52. Springer, 1993.
- [66] Geraint A. Wiggins. A preliminary framework for description, analysis and comparison of creative systems. *Knowl.based Syst.*,19(7) :449–458, 2006.
- [67] Geraint A. Wiggins. Searching for computational creativity. *New Gener. Comput.*, 24(3) :209–222, 2006.
- [68] Geraint A. Wiggins. A framework for description, analysis and comparison of creative systems. In Tony Veale and F. Amílcar Cardoso, editors, *Computational Creativity - The Philosophy and Engineering of Autonomously Creative Systems*, pages 21–47. Springer, 2019.
- [69] Geraint A. Wiggins and Jamie Forth. Computational creativity and live algorithms. In Alex McLean and Roger T. Dean, editors, *The Oxford Handbook of Algorithmic Music*. Oxford University Press, 2018.