

MaTOS: traduction automatique pour la science ouverte

Maud Bénard¹ Natalie Kübler¹ Alexandra Mestivier¹ Lichao Zhu¹
Rachel Bawden² Eric de la Clergerie² Laurent Romary²
Mathilde Huguin³ Jean-Francois Nominé³ Ziqian Peng⁴ François Yvon⁴
(1) CLLILAC-ARP, Université Paris Cité, Paris, France
(2) Centre Inria Paris, France
(3) INIST, CNRS, Nancy, France
(4) ISIR, CNRS et Sorbonne Université, Paris, France

RÉSUMÉ

Cette contribution présente le projet MaTOS (Machine Translation for Open Science), qui vise à développer de nouvelles méthodes pour la traduction automatique (TA) intégrale de documents scientifiques entre le français et l'anglais, ainsi que des métriques automatiques pour évaluer la qualité des traductions produites. Pour ce faire, MaTOS s'intéresse (a) au recueil de ressources ouvertes pour la TA spécialisée; (b) à la description des marqueurs de cohérence textuelle pour les articles scientifiques; (c) au développement de nouvelles méthodes de traitement multilingue pour les documents; (d) aux métriques mesurant les progrès de la traduction de documents complets.

ABSTRACT

MaTOS : Machine Translation for Open Science.

This contribution presents the MaTOS (Machine Translation for Open Science) project, which aims to develop new methods for the complete machine translation (MT) of scientific documents between English and French, as well as automatic metrics to evaluate the translation quality. To this end, MaTOS is interested in (a) the collection of open resources for specialised MT; (b) the description of textual coherence markers for scientific articles; (c) the development of new multilingual processing methods for documents; and (d) metrics to measure progress in document-level machine translation.

MOTS-CLÉS : Traduction Automatique de Documents ; Analyse de Documents Scientifiques.

KEYWORDS: Document-Level Machine Translation ; Analysis of Scholarly Documents.

1 Introduction

Avec l'avènement d'architectures neuronales attentionnelles encodeur-décodeur (Cho *et al.*, 2014; Bahdanau *et al.*, 2015; Vaswani *et al.*, 2017) les systèmes de traduction automatique ont réalisé des progrès considérables, offrant des services de plus en plus utiles pour une vaste gamme d'utilisateurs et d'applications. La recherche continue de progresser à vive allure pour prendre en compte davantage de domaines et de paires de langues, en particulier en développant des méthodes massivement multilingues (Freitag & Firat, 2020; Fan *et al.*, 2021). L'essentiel de cet effort s'inscrit dans un cadre de traduction de segments isolés et évalue les progrès réalisés à l'aune de métriques simplistes, au premier rang desquelles BLEU (Papineni *et al.*, 2002) et METEOR (Banerjee & Lavie, 2005).

Par contraste, le projet MaTOS (*Machine Translation for Open Science*) s'intéresse à la traduction



automatique (TA) de documents scientifiques complets, qui pose des questions difficiles induites par les dépendances entre les segments ou entre parties d'un même document. Ces dépendances peuvent être locales, comme les co-références pronominales (Bawden *et al.*, 2018) et les ellipses (Voita *et al.*, 2019), ou plus globales, reflétant des contraintes de cohérence lexicale et terminologique (Pu *et al.*, 2017) ou de structuration du discours (Guzmán *et al.*, 2014). Dans les sections qui suivent, nous présentons en détail le contexte scientifique et les principaux objectifs du projet.

2 Contexte général

Le projet MaTOS s'inscrit dans un mouvement qui vise à développer le multilinguisme dans la communication scientifique et dont les objectifs principaux sont résumés dans l'initiative d'Helsinki¹. En encourageant la production et la diffusion des savoirs scientifiques dans d'autres langues que l'anglais, cette initiative vise à gommer un certain nombre de biais attribuables au monolinguisme qui s'est progressivement imposé dans de nombreux champs disciplinaires (Gordin, 2015).

Une motivation seconde pour favoriser la diversité linguistique correspond à un objectif de diffusion des connaissances vers le plus large public : rendre les sources scientifiques accessibles dans un plus grand nombre de langues facilite leur circulation au-delà des cercles disposant de l'expertise scientifique : étudiants, journalistes, ingénieurs, décideurs politiques. Ce besoin a été mis en évidence durant la crise du Covid de 2020 et est rappelé dans le 2e plan national pour la science ouverte, qui souligne l'apport que la TA pourrait avoir pour y répondre (Fiorini *et al.*, 2020).

Les questions de la traduction automatique pour les documents ont fait l'objet de plusieurs projets récents, par exemple le projet ANR/COSMAT (Lambert *et al.*, 2012) ou encore le projet Européen *Health in My Language*², focalisé, comme la campagne d'évaluation WMT-Biomedical³, sur la traduction de textes en domaine biomédical. Mentionnons également l'initiative ACL60-60⁴ qui développera des services de traduction d'articles et de sous-titrage d'exposés pour le Traitement Automatique des Langues (TAL).

3 Détail du programme scientifique

3.1 Ressources pour la traduction automatique

La première tâche du projet est de rassembler les ressources nécessaires à sa bonne exécution, en premier lieu les corpus et les données terminologiques disponibles pour trois domaines : les sciences biomédicales, le TAL et les sciences de la Terre. Le premier de ces domaines a déjà fait l'objet de nombreuses études en recherche et extraction d'information. Il existe également des terminologies bilingues⁵, de grands corpus parallèles (développés dans le cadre des challenges WMT-Biomedical), y compris des corpus de résumés parallèles extraits de l'archive PubMed.

Les deux autres domaines sont comparativement moins bien pourvus, même si l'initiative ACL60-60

1. <https://www.helsinki-initiative.org/fr>

2. <https://www.himl.eu/>

3. Voir <https://www.statmt.org/wmt22/biomedical-translation-task.html/> pour l'édition 2022.

4. Initiative promue par l'Association for Computational Linguistics : voir <https://www.acl6060.org/>

5. <http://mesh.inserm.fr/FrenchMesh/index.htm>

est susceptible de changer la situation pour le TAL.⁶ Pour remédier à ce manque de ressources, nous comptons d’une part exploiter les données parallèles existantes dans les archives scientifiques en appliquant les méthodes du projet SciPar (Roussis *et al.*, 2022) à des archives telles que ISTE⁷ et HAL⁸. Nous comptons, d’autre part, utiliser des méthodes d’augmentation artificielle de données exploitant les grands corpus de textes monolingues qui existent en langue anglaise, et dans une moindre mesure, en langue française. Pour ce qui concerne la terminologie associée à ces domaines, MaTOS prévoit de combiner des méthodes automatiques de repérage de termes avec les ressources existantes telles que les bases Loterre⁹ de l’INIST et base ARTES¹⁰ (Pecman & Kübler, 2012).

3.2 Questions terminologiques

Une première difficulté de la traduction scientifique, ou plus généralement de la traduction en domaine de spécialité, porte sur la traduction correcte des termes du domaine. En exploitant des listes de termes bilingues, il était relativement simple pour les méthodes de TA statistiques de contraindre la traduction d’un terme connu. Le portage de ces techniques dans un cadre de TA neuronale, qui n’explicite pas les alignements de mots, n’est pas trivial. Il est toutefois possible d’aboutir à ce résultat soit en imposant des contraintes lexicales dans l’algorithme de décodage (Hokamp & Liu, 2017; Post & Vilar, 2018), soit en positionnant directement les termes dans la phrase source par des prétraitements (Dinu *et al.*, 2019; Susanto *et al.*, 2020; Xu & Carpuat, 2021).

Dans le cadre de MaTOS, l’objectif est, d’une part, d’aller plus loin dans la traduction des termes connus en s’intéressant à la prise en compte de la variation terminologique (Daille, 2017) au sein d’un document, en relation avec les objectifs pragmatiques associés à la sélection de chaque variante (forme complète, compactée, étendue, siglée, etc). Il faudra pour cela, développer des outils de reconnaissance et de génération de variantes des termes et progresser dans leur caractérisation par des études en corpus. Nous souhaitons, d’autre part, nous intéresser également à la traduction *de termes inconnus*. Ce problème est relativement nouveau et nous envisageons deux scénarios : la production d’un terme cible à partir d’une définition en langue cible ou directement depuis la définition source.

3.3 Traduire des documents complets

Du point de vue formel, la TA au niveau document demande de mettre en œuvre un modèle de la forme [1] $P(\mathbf{e}_1 \dots \mathbf{e}_{l_d} | \mathbf{f}_1 \dots \mathbf{f}_{l_s}; \theta)$ avec \mathbf{e}_t (resp. \mathbf{f}_t) les phrases cibles (resp. sources), l_d la longueur du document et θ les paramètres. La plupart des architectures neuronales étudiées par (Maruf *et al.*, 2021), à l’exception peut-être de (Yu *et al.*, 2020), se limitent à des modèles de la forme $P(\mathbf{e}_t | \mathbf{f}_t, \mathbf{C}_t; \theta)$ avec \mathbf{C}_t une représentation condensée du contexte discursif source et cible. Entrent dans ce cadre aussi bien les architectures par concaténation de (Scherrer *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2020) que les architectures multi-encodeurs de (Miculicich *et al.*, 2018; Bawden *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020). Ces propositions sont comparées par (Lopes *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2021).

L’alternative que nous souhaitons explorer est l’implémentation directe de [1]. Elle se heurte à

6. Des premières données, correspondant à des traductions d’exposés vers 10 langues, dont le français, sont déjà distribuées dans le cadre de la campagne IWSLT 2023 (<https://iwslt.org/2023/multilingual>).

7. <https://www.inist.fr/services/analyser/istex-textes-corpus/>

8. <https://hal.science/>

9. <https://www.loterre.fr/>

10. <https://artes.app.univ-paris-diderot.fr/artes-symfony/web/app.php>

la complexité algorithmique des calculs effectués au sein des modèles Transformers. Pour ces architectures, le calcul de l'attention est quadratique en temps et en espace en fonction de la longueur totale du texte ou du document en entrée. Cette difficulté a conduit à de multiples propositions (Tay *et al.*, 2022), qui soit simplifient le calcul de l'attention (Child *et al.*, 2019; Zaheer *et al.*, 2020; Beltagy *et al.*, 2020), soit remplacent le composant attentionnel par des alternatives récurrentes plus efficaces (Gu *et al.*, 2022). En dépit de ces efforts, la taille des séquences utilisées dans l'état de l'art se limite à quelques milliers de mots, ce qui est encore trop peu pour encoder un document complet.

L'objectif de MaTOS est d'étendre ces méthodes à des documents complets et d'étudier les améliorations en terme de cohérence qui en découlent. Nous envisageons également de nous pencher sur plusieurs problèmes essentiels pour notre application, à savoir la traduction (ou la localisation) des éléments non-textuels : titres, légendes, en-têtes de tableaux, formules et équations, appels de référence, etc. (Zhu *et al.*, 2021).

3.4 Mesurer les progrès

Pour progresser sur les questions évoquées ci-dessus, un préalable est de disposer des métriques idoines, car les métriques automatiques standard ne permettent pas de rendre compte des améliorations de la modélisation des questions terminologiques et discursives (Popescu-Belis, 2019). Face à ce constat, diverses métriques ont été proposées : pour la terminologie, citons en particulier (ibn Alam *et al.*, 2021), qui évalue grossièrement le degré d'accord entre les traductions de termes générées et celles qui figurent dans une liste de référence. Pour ce qui concerne les phénomènes discursifs locaux, deux approches sont communément employées. D'une part les évaluations *focalisées*, qui n'évaluent que la correction de quelques mots spécifiques (par exemple, les pronoms (Guillou & Hardmeier, 2016)), d'autre part les évaluations *contrastives*, qui comparent les scores attribués respectivement à des traductions qui ne diffèrent que dans leur traitement d'un mot ou d'un phénomène problématique (le genre d'un pronom, le temps d'un verbe, etc) (Sennrich, 2017; Bawden *et al.*, 2018). Ces méthodes s'appliquent également pour évaluer la cohérence des choix lexicaux. Pour l'évaluation du niveau global, les propositions sont très lacunaires et s'appuient principalement sur le repérage d'éléments de cohésion : chaînes de co-références, similarités entre fragments textuels (Jiang *et al.*, 2022).

Dans le cadre de MaTOS, trois pistes seront explorées : la première essaiera de dépasser les apories des évaluations des choix terminologiques en s'intéressant à la question de la variation. Cette partie de l'étude reposera sur la catégorisation manuelle d'erreurs terminologiques, puis à leur repérage automatique. Une seconde piste d'exploration concerne l'évaluation globale du document, qui sera analysée du point de vue de sa cohérence/cohésion, en exploitant ici encore des modèles neuronaux à large contexte (Deng *et al.*, 2022; Abhishek *et al.*, 2022).

En complément de l'étude de méthodes automatiques, nous envisageons de réaliser une évaluation humaine participative, en incitant la communauté des utilisateurs de l'archive HAL à traduire (par post-édition) des résumés en français ou en anglais de leur propre production, afin que les deux langues soient toujours disponibles dans les méta-données qui décrivent un document. Cette évaluation vise plusieurs objectifs. Il s'agit, tout d'abord, de déterminer le niveau de qualité qui serait acceptable par les utilisateurs finaux en matière de traduction de documents scientifiques. Il s'agit également d'accroître la quantité de données parallèles disponibles pour mener à bien les autres expériences de notre projet. Une première expérience pilote sera présentée durant la conférence TALN 2023.

4 Conclusion

Le projet MaTOS s’inscrit fermement dans le mouvement de la science ouverte et la promotion du multilinguisme dans la communication scientifique. Nous visons à développer de nouvelles méthodes pour la traduction automatique intégrale, anglais-français, de documents scientifiques, ainsi que des métriques automatiques pour évaluer la qualité des traductions produites. Notre approche repose notamment sur l’étude des variations terminologiques et la description des marqueurs de cohérence textuelle pour les articles scientifiques.

5 Remerciements

Ce projet a reçu un soutien de l’Agence Nationale de la Recherche (convention ANR-22-CE23-0033).

Références

- ABHISHEK T., RAWAT D., GUPTA M. & VARMA V. (2022). Transformer models for text coherence assessment.
- BAHDANAU D., CHO K. & BENGIO Y. (2015). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. In *Proceedings of the first International Conference on Learning Representations*, San Diego, CA.
- BANERJEE S. & LAVIE A. (2005). METEOR : An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments. In *Proceedings of the ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation*, p. 65–72, Ann Arbor, Michigan.
- BAWDEN R., SENNRICH R., BIRCH A. & HADDOW B. (2018). Evaluating discourse phenomena in neural machine translation. In *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics : Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers)*, p. 1304–1313, New Orleans, Louisiana. DOI : [10.18653/v1/N18-1118](https://doi.org/10.18653/v1/N18-1118).
- BELTAGY I., PETERS M. E. & COHAN A. (2020). Longformer : The long-document transformer.
- CHILD R., GRAY S., RADFORD A. & SUTSKEVER I. (2019). Generating long sequences with sparse transformers.
- CHO K., VAN MERRIENBOER B., BAHDANAU D. & BENGIO Y. (2014). On the properties of neural machine translation : Encoder–decoder approaches. In *Proceedings of SSST-8, Eighth Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation*, p. 103–111, Doha, Qatar.
- DAILLE B. (2017). *Term variation in specialised corpora : characterisation, automatic discovery and applications.*, volume 19 de *Terminology and Lexicography Research and Practice series*. John Benjamins Publishing Company. DOI : [10.1075/tlrp.19](https://doi.org/10.1075/tlrp.19), HAL : [hal-01693035](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01693035).
- DENG Y., KULESHOV V. & RUSH A. (2022). Model criticism for long-form text generation. In *Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, p. 11887–11912, Abu Dhabi, United Arab Emirates : Association for Computational Linguistics.
- DINU G., MATHUR P., FEDERICO M. & AL-ONAIZAN Y. (2019). Training neural machine translation to apply terminology constraints. In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association*

for *Computational Linguistics*, p. 3063–3068, Florence, Italy : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/P19-1294](https://doi.org/10.18653/v1/P19-1294).

FAN A., BHOSALE S., SCHWENK H., MA Z., EL-KISHKY A., GOYAL S., BAINES M., CELEBI O., WENZEK G., CHAUDHARY V., GOYAL N., BIRCH T., LIPTCHINSKY V., EDUNOV S., AULI M. & JOULIN A. (2021). Beyond english-centric multilingual machine translation. *Journal of Machine Learning Research*, **22**(107), 1–48.

FIORINI S., BARBIN F., GARNIER-RIZET M., MORIN K. H., HUMPHREYS F., JOSSELIN-LERAY A., KÜBLER N., LOOCK R., MARTIKAINEN H., NOMINÉ J.-F., PLAG C., ROSSI C. & YVON F. (2020). *Rapport du groupe de travail "Traductions et science ouverte"*. Technical report, Comité pour la science ouverte. DOI : [10.52949/20](https://doi.org/10.52949/20), HAL : [hal-03640511](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03640511).

FREITAG M. & FIRAT O. (2020). Complete multilingual neural machine translation. In *Proceedings of the Fifth Conference on Machine Translation*, p. 550–560, Online.

GORDIN M. D. (2015). *Scientific Babel How Science Was Done Before and After Global English*. University of Chicago Press.

GU A., GOEL K. & RÉ C. (2022). Efficiently modeling long sequences with structured state spaces. In *The Tenth International Conference on Learning Representations, ICLR 2022, Virtual Event, April 25-29, 2022* : OpenReview.net.

GUILLOU L. & HARDMEIER C. (2016). PROTEST : A test suite for evaluating pronouns in machine translation. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16)*, p. 636–643, Portorož, Slovenia : European Language Resources Association (ELRA).

GUZMÁN F., JOTY S., MÀRQUEZ L. & NAKOV P. (2014). Using discourse structure improves machine translation evaluation. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1 : Long Papers)*, p. 687–698, Baltimore, Maryland : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.3115/v1/P14-1065](https://doi.org/10.3115/v1/P14-1065).

HOKAMP C. & LIU Q. (2017). Lexically constrained decoding for sequence generation using grid beam search. In *Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1 : Long Papers)*, p. 1535–1546 : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/P17-1141](https://doi.org/10.18653/v1/P17-1141).

IBN ALAM M. M., ANASTASOPOULOS A., BESACIER L., CROSS J., GALLÉ M., KOEHN P. & NIKOULINA V. (2021). On the evaluation of machine translation for terminology consistency.

JIANG Y., LIU T., MA S., ZHANG D., YANG J., HUANG H., SENNRICH R., COTTERELL R., SACHAN M. & ZHOU M. (2022). BlonDe : An automatic evaluation metric for document-level machine translation. In *Proceedings of the 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics : Human Language Technologies*, p. 1550–1565, Seattle, United States : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/2022.naacl-main.111](https://doi.org/10.18653/v1/2022.naacl-main.111).

LAMBERT P., SENELLART J., ROMARY L., SCHWENK H., ZIPSER F., LOPEZ P. & BLAIN F. (2012). Collaborative machine translation service for scientific texts. In *Proceedings of the Demonstrations at the 13th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, p. 11–15, Avignon, France : Association for Computational Linguistics.

LI B., LIU H., WANG Z., JIANG Y., XIAO T., ZHU J., LIU T. & LI C. (2020). Does multi-encoder help ? a case study on context-aware neural machine translation. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, p. 3512–3518, Online : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/2020.acl-main.322](https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.322).

- LOPES A., FARAJIAN M. A., BAWDEN R., ZHANG M. & MARTINS A. (2020). Document-level neural MT : A systematic comparison. In *22nd Annual Conference of the European Association for Machine Translation*, p. 225–234.
- MA S., ZHANG D. & ZHOU M. (2020). A simple and effective unified encoder for document-level machine translation. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, p. 3505–3511, Online : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/2020.acl-main.321](https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.321).
- MA Z., EDUNOV S. & AULI M. (2021). A comparison of approaches to document-level machine translation. arXiv preprint arXiv :1910.07481.
- MARUF S., SALEH F. & HAFFARI G. (2021). A survey on document-level neural machine translation : Methods and evaluation. *ACM Comput. Surv.*, **54**(2). DOI : [10.1145/3441691](https://doi.org/10.1145/3441691).
- MICULICICH L., RAM D., PAPPAS N. & HENDERSON J. (2018). Document-level neural machine translation with hierarchical attention networks. In *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, p. 2947–2954, Brussels, Belgium : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/D18-1325](https://doi.org/10.18653/v1/D18-1325).
- PAPINENI K., ROUKOS S., WARD T. & ZHU W.-J. (2002). Bleu : a method for automatic evaluation of machine translation. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, p. 311–318, Philadelphia, Pennsylvania, USA : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.3115/1073083.1073135](https://doi.org/10.3115/1073083.1073135).
- PECMAN M. & KÜBLER N. (2012). The ARTES bilingual LSP dictionary : From collocation to higher order phraseology. In *Electronic Lexicography* : Oxford University Press. DOI : [10.1093/acprof:oso/9780199654864.003.0010](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199654864.003.0010).
- POPESCU-BELIS A. (2019). Context in neural machine translation : A review of models and evaluations.
- POST M. & VILAR D. (2018). Fast lexically constrained decoding with dynamic beam allocation for neural machine translation. In *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics : Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers)*, p. 1314–1324, New Orleans, Louisiana : Association for Computational Linguistics.
- PU X., MASCARELL L. & POPESCU-BELIS A. (2017). Consistent translation of repeated nouns using syntactic and semantic cues. In *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics : Volume 1, Long Papers*, p. 948–957, Valencia, Spain : Association for Computational Linguistics.
- ROUSSIS D., PAPAVALASSIOU V., PROKOPIDIS P., PIPERIDIS S. & KATSOUROS V. (2022). SciPar : A collection of parallel corpora from scientific abstracts. In *Proceedings of the Thirteenth Language Resources and Evaluation Conference*, p. 2652–2657, Marseille, France : European Language Resources Association.
- SCHERRER Y., TIEDEMANN J. & LOÁICIGA S. (2019). Analysing concatenation approaches to document-level NMT in two different domains. In *Proceedings of the Fourth Workshop on Discourse in Machine Translation (DiscoMT 2019)*, p. 51–61, Hong Kong, China : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/D19-6506](https://doi.org/10.18653/v1/D19-6506).
- SENNRICH R. (2017). How grammatical is character-level neural machine translation ? assessing MT quality with contrastive translation pairs. In *Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics : Volume 2, Short Papers*, p. 376–382, Valencia, Spain : Association for Computational Linguistics.

- SUSANTO R. H., CHOLLAMPATT S. & TAN L. (2020). Lexically constrained neural machine translation with Levenshtein transformer. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, p. 3536–3543, Online : Association for Computational Linguistics.
- TAY Y., DEGHANI M., BAHRI D. & METZLER D. (2022). Efficient transformers : A survey. *ACM Comput. Surv.* Just Accepted, DOI : [10.1145/3530811](https://doi.org/10.1145/3530811).
- VASWANI A., SHAZEER N., PARMAR N., USZKOREIT J., JONES L., GOMEZ A. N., KAISER L. U. & POLOSUKHIN I. (2017). Attention is all you need. In I. GUYON, U. V. LUXBURG, S. BENGIO, H. WALLACH, R. FERGUS, S. VISHWANATHAN & R. GARNETT, Édts., *Advances in Neural Information Processing Systems 30*, p. 5998–6008 : Curran Associates, Inc.
- VOITA E., SENNRICH R. & TITOV I. (2019). When a good translation is wrong in context : Context-aware machine translation improves on deixis, ellipsis, and lexical cohesion. In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, p. 1198–1212, Florence, Italy : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/P19-1116](https://doi.org/10.18653/v1/P19-1116).
- XU W. & CARPUAT M. (2021). Rule-based morphological inflection improves neural terminology translation. In *Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, p. 5902–5914, Online and Punta Cana, Dominican Republic : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/2021.emnlp-main.477](https://doi.org/10.18653/v1/2021.emnlp-main.477).
- YU L., SARTRAN L., STOKOWIEC W., LING W., KONG L., BLUNSOM P. & DYER C. (2020). Better document-level machine translation with Bayes’ rule. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, **8**, 346–360. DOI : [10.1162/tacl_a_00319](https://doi.org/10.1162/tacl_a_00319).
- ZAHEER M., GURUGANESH G., DUBEY A., AINSLIE J., ALBERTI C., ONTANON S., PHAM P., RAVULA A., WANG Q., YANG L. & AHMED A. (2020). Big Bird : Transformers for longer sequences.
- ZHU K., GAO Y., GUO J. & LOU J.-G. (2021). Translating headers of tabular data : A pilot study of schema translation. In *Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, p. 56–66, Online and Punta Cana, Dominican Republic : Association for Computational Linguistics. DOI : [10.18653/v1/2021.emnlp-main.5](https://doi.org/10.18653/v1/2021.emnlp-main.5).