Évaluer la maturité numérique des enseignants à grande échelle à partir des *Teaching Analytics* : vers une visualisation contextualisée des usages et leur analyse stratégique

Assessing teachers' digital maturity at scale through Teaching Analytics: toward context-aware visualization and strategic analysis of platform use

Christine MICHEL[1] ; Laëtitia PIERROT[2] ; Frédéric ORU[3] ; Olivier VIGNEAU[4]

[1]Université de Poitiers, Techné UR-20297, F-86000 Poitiers, France
[2]Le Mans Université, CREN UR-2661, F-72000 Le Mans, France
[3]AI4Better, F-75018, France
[4]EDIFICE, F-75017, France

Résumé. Cet article présente une méthode exploitant les traces d'activité dans un ENT pour évaluer la maturité numérique des enseignants et l'analyser à grande échelle. La méthode formalise la diversité et l'intensité des usages des services de l'ENT. L'expérimentation, menée en 2022–2023 sur deux académies (Paris et Nouvelle-Aquitaine, 36 997 enseignants) montre que la méthode reste fiable selon que les calculs sont réalisés sur le corpus complet ou par partie, et que les visualisations permettent de comparer la maturité numérique des enseignants à grande échelle et selon les contextes géographiques.
Mots-clés : maturité numérique, *Teaching Analytics*, ENT, pratiques enseignantes, usages numériques

Abstract. *This article presents a method that leverages teachers' activity traces within a digital learning environment (ENT) to assess their digital maturity and analyze it at scale. The method formalizes the diversity and intensity of ENT service use. The experiment, conducted in 2022–2023 across two academic regions (Paris and Nouvelle-Aquitaine, 36,997 teachers), shows that the method remains reliable whether calculations are performed on the complete corpus or on subsets, and that the visualizations make it possible to compare teachers' digital maturity on a large scale and across geographical contexts.*
Keywords: *digital maturity, Teaching Analytics, VLE, teaching practices, digital uses*

---

1. INTRODUCTION

À l'instar d'autres domaines professionnels, l'activité quotidienne des enseignants du primaire et du secondaire est bousculée par le déploiement du numérique. Publiée en janvier 2023 par le Ministère de l'Éducation Nationale français, la stratégie numérique pour l'éducation 2023-2027[1] identifie plusieurs défis à relever pour transformer les processus d'enseignement et d'apprentissage. Parmi ces défis, le développement des usages numériques des enseignants occupe une place centrale, nécessitant des actions structurées de formation et d'accompagnement. Cet enjeu est d'autant plus critique dans le contexte éducatif que (1) l'intégration des outils numériques dans les pratiques des enseignants est limitée (OCDE, 2019), et (2) le renouvellement constant de l'offre d'outils est difficilement compatible avec leur appropriation dans le temps par les enseignants (MENJ, 2023).

Pour répondre à ces défis, différentes initiatives de formation initiale et continue, portées par des acteurs institutionnels, visent à accompagner les enseignants dans leur montée en compétences. Cet enjeu, qui n'est pas propre au système éducatif français, fait même l'objet d'une formalisation explicite, comme au Québec où le référentiel de compétences professionnelles des enseignants intègre la compétence 12 « Mobiliser le numérique », soulignant l'importance de développer et d'évaluer le processus progressif de maturité)[2]. Cette dernière se définit comme leur capacité à intégrer de manière efficace les outils numériques dans leurs pratiques (Michel et Pierrot, 2024). Cependant, malgré ces efforts, les enseignants et les parties prenantes déplorent un manque de coordination entre les actions de formation, des difficultés à les adapter en fonction des besoins des enseignants et une absence de visibilité quant à leurs effets sur la maturité numérique (MENJ, 2020).

Face à ce constat, un besoin d'information apparaît celui de mieux comprendre les usages numériques effectifs des enseignants. La compréhension plus fine des usages permettrait ensuite d'ajuster au mieux les actions d'accompagnement et de formation en fonction des besoins réels des enseignants, tout en facilitant l'évaluation des actions menées. Alors que les approches traditionnelles d'analyse des usages pour la mesure de la maturité numérique reposent souvent sur des enquêtes déclaratives ou des observations ponctuelles, notre travail explore une autre piste : exploiter les traces numériques issues d'un environnement numérique de travail (ENT). Par cette méthode, l'analyse des traces contribue à appréhender la maturité numérique des enseignants de manière plus fine et dans le temps. Cette analyse permet non seulement de mieux comprendre des usages effectifs, mais aussi d'identifier des indicateurs pertinents pour évaluer et accompagner la montée en maturité numérique des enseignants.

L'identification d'indicateurs de maturité numérique en éducation constitue un levier pour soutenir le développement professionnel des enseignants (Crompton et Sykora, 2021). Actuellement, ces indicateurs reposent soit sur des observations à petite échelle (Duguet *et al.*, 2019 ; Johler *et al.*, 2022) ou grande échelle (OCDE, 2019), soit sur des référentiels structurés, qui orientent les besoins de formation. C'est le cas notamment du DigCompEdu (Redecker, 2017), un référentiel utilisé dans l'Union européenne pour décrire les compétences numériques et les utilisations attendues des enseignants dans leurs activités quotidiennes.

---

[1] https://www.education.gouv.fr/strategie-du-numerique-pour-l-education-2023-2027-344263

2 https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/education/publications-adm/devenir-enseignant/referentiel_competences_professionnelles_profession_enseignante.pdf

Cependant, pour être pleinement efficaces, les actions de soutien à la maturité des enseignants devraient être variées, organisées selon le référentiel choisi (par domaine de compétence ou par niveau de maturité par exemple), et rendues directement accessibles aux enseignants en fonction de leurs besoins, de leurs intérêts ou de leur niveau de maturité (Saar *et al.*, 2022). Ces études suggèrent de fournir aux enseignants des outils d'observation de leurs pratiques et d'encourager la réflexivité.

Les travaux de recherche existants sur la maturité numérique des enseignants (Carvalho *et al.*, 2018 ; Franklin et Bolick, 2007 ; Underwood *et al.*, 2010) montrent que cette notion dépend d'une combinaison de facteurs individuels et contextuels. L'intégration du numérique ne peut dès lors être étudiée sans tenir compte des interactions entre l'enseignant et son exercice professionnel (Harrison *et al.*, 2014).

Pour appréhender cette complexité, nous mobilisons une approche multi-dimensionnelle (Ertmer et Ottenbreit-Leftwich, 2010), qui permet d'analyser les différentes échelles contextuelles imbriquées dans l'étude d'un phénomène social (Wiley, 1988) : l'échelle *micro,* qui concerne les usages individuels de l'enseignant, l'échelle *méso*, qui inclut les interactions avec le contexte et l'échelle *macro*, qui prend en compte les directives institutionnelles et les politiques nationales.

Dans la suite de l'article, nous revenons d'abord sur les fondements théoriques de la maturité numérique des enseignants et les outils d'analyse des usages, tels que les *Teaching Analytics* (TA), pouvant être mobilisés pour l'étudier (section 2). Dans la section 3, nous présentons le processus adopté pour évaluer la maturité numérique. Dans la section 4, nous évaluons la robustesse et la précision de notre méthode vis-à-vis des questions d'échelle et de type de structuration en segments de gros volumes de données. Dans la section 5, nous présentons de nouvelles formes de visualisations pour observer la dynamique de maturité des enseignants d'un territoire ou d'un niveau spécifique d'enseignement. Les visualisations permettent de comparer ou étudier précisément les enseignants des Académies de Paris, Bordeaux, Limoges et Poitiers. Enfin, la section 6 présente la conclusion et propose des perspectives pour de futurs travaux.

2. LES *TEACHING ANALYTICS* POUR MESURER LA MATURITE NUMERIQUE DES ENSEIGNANTS

2.1 USAGES NUMERIQUES ET APPROCHES SOCIO-CONTEXTUELLES DE LA MATURITE EN EDUCATION

Le rapport au numérique des enseignants peut être abordé de différentes manières, parmi lesquelles : l'étude de leurs représentations et perceptions, le diagnostic de leurs compétences ou encore l'identification d'activités investissant les outils. Les enseignants jugent le numérique pertinent pour faciliter les apprentissages, mais manquent de cadrage pour transformer leurs pratiques (Akram *et al.*, 2022). D'ailleurs, une autre méta-analyse de la littérature portant sur les compétences numériques et le développement professionnel des enseignants révèle que la majorité des enseignants, tous niveaux confondus, n'est ni qualifiée ni suffisamment formée au numérique (Fernández Batanero *et al.*, 2020). En effet, la formation proposée est principalement axée sur des aspects techniques, au détriment des dimensions pédagogiques. Cette orientation se traduit souvent par des activités d'apprentissage misant sur des tâches manipulatoires qui ne débouchent pas nécessairement sur des apprentissages significatifs. De leur côté, Escudero *et al.* (2018) s'intéressent aux

modes d'évaluation des activités intégrant le numérique. À cet effet, leur analyse s'intéresse à trois niveaux expliquant ces activités : les actions de formation initiale et continue suivies par les enseignants, les formes de développement professionnel portées par les établissements scolaires et les politiques institutionnelles de déploiement du numérique. Leur analyse multidimensionnelle (*micro*, *méso* et *macro*) insiste sur l'importance de considérer les activités des enseignants en contexte.

Ce dernier angle d'analyse rejoint la sociologie des usages (Chambat et Jouët, 1996 ; Jouët, 1993), pour qui la manière dont les usagers agissent avec des outils numériques s'inscrit dans un cadre social particulier, susceptible de façonner leurs actions. Dans le cas d'un enseignant, considérer le contexte revient à distinguer par exemple l'usage dans la salle de classe, face à des élèves, de celui à son domicile. Selon cette même approche, il est également possible d'isoler l'usage observé dans un contexte plus ou moins favorable au déploiement du numérique. Ce dernier élément est particulièrement mobilisé pour l'étude de la maturité numérique des enseignants.

Les rapports d'enquêtes institutionnelles comme TALIS (OCDE, 2019) ou EPODE (MENJ, 2023) et les travaux de recherche sur la maturité numérique des enseignants (plus largement leurs usages) aspirent à se centrer principalement sur le niveau micro, c'est-à-dire les pratiques enseignantes quotidiennes. Ces publications (Duguet *et al.*, 2019 ; Johler *et al.*, 2022 ; Plantard, 2023) mettent en évidence des disparités dans les usages. Les usages numériques sont plus variés et nombreux chez les enseignants faisant preuve d'une plus grande maîtrise des possibilités offertes par le numérique (Johler *et al.*, 2022). Si l'utilité perçue du numérique est globalement positive dans le premier et le second degré (Duguet *et al.*, 2019), notamment pour s'adapter aux besoins des élèves, le manque d'équipement dans les écoles primaires justifie des usages davantage développés dans le second degré (Plantard, 2023).

Bien que proposées de manière plus disparate, d'autres études explorent les aspects institutionnels et contextuels de la gestion de la mise en œuvre du numérique. Différents facteurs explicatifs du déploiement du numérique ont ainsi pu être mis en évidence, comme la culture scolaire, les connaissances technologiques des enseignants, les attitudes des enseignants à l'égard de l'utilisation du numérique et les compétences des enseignants (Spiteri et Chang Rundgren, 2020). Le soutien institutionnel participe également au développement des pratiques enseignantes (Abel *et al.*, 2022). En France, l'organisation territoriale se reflète aussi dans la gestion du déploiement du numérique. La mise en correspondance des outils numériques disponibles (Cour des comptes, 2019) et des usages numériques (MENJS, 2019) suggère la présence ou l'absence de projets de pilotage du numérique éducatif dans des scénarios d'intégration du numérique différents (Besneville *et al.*, 2019). L'absence de politiques explicites est d'ailleurs identifiée comme facteurs limitant le déploiement du numérique (Murithi et Yoo, 2021), au même titre que des défaillances au niveau des types d'infrastructures techniques proposés (Jalal *et al.*, 2018).

2.2 LA MODELISATION DE LA MATURITE NUMERIQUE

Thordsen et Bick (2023) ont étudié, à partir d'une revue de la littérature, les caractéristiques de différents modèles de la maturité numérique (ou DMM pour *digital maturity model*). Certains modèles s'attachent à décrire l'aspect holistique ou multidimensionnel lié à la maturité. En effet, la notion de maturité prend en considération : l'intégration des outils numériques adaptés à l'activité professionnelle, mais aussi les évolutions en termes de processus de travail et de culture organisationnelle liés à la technologie. Dans d'autres études, la maturité intègre en complément un alignement de la

stratégie numérique avec la stratégie organisationnelle globale de l'organisation. Par ce biais, ces études corrèlent la maturité avec la performance organisationnelle, bien que cette relation reste débattue.

D'autres modèles considèrent la maturité comme une succession d'étapes ou des phases qui permettent d'aboutir à un niveau culminant de maturité. Le nombre d'étapes et leurs caractéristiques sont largement dépendants des contextes d'activité des organisations. Le niveau culminant peut être par exemple défini par : une capacité d'adaptation constante pour maximiser les performances de l'organisation (Babkin *et al.*, 2022), une capacité à gérer les données liées aux usages numériques en temps réel pour personnaliser les services et produits et maximiser l'expérience client ou bien pour comprendre et influer sur la culture organisationnelle, une capacité à réaliser des actions d'innovation, de prise de risque et une gestion proactive des erreurs. Enfin, le terme « niveau d'avancement » implique aussi que la maturité numérique d'une organisation est une mesure, à un instant t, de ses efforts de transformation numérique et plus globalement de sa capacité d'évolution et d'adaptation aux changements liés au numérique (Thordsen et Bick, 2023). Cette mesure est directement dépendante des échelles ou des étapes de maturité numérique préalablement identifiées.

Ces principes ont été adaptés pour le contexte éducatif : on retrouve la même variété de propositions ou le même manque de consensus. Śpiewak et Kujawski (2024) reprennent l'idée de transformation numérique globale (infrastructure numérique, adoption des technologies par les acteurs et efficacité organisationnelle) et d'adaptabilité des universités aux défis numériques pour optimiser leur impact éducatif et sociétal. La mesure de la capacité des enseignants à intégrer les compétences numériques dans leur développement professionnel est un point critique, et la maturité numérique est une évaluation de leurs compétences techno-pédagogiques pour l'enseignement (Fernández Batanero *et al.*, 2020). Tocto-Cano *et al.* (2020) reprennent l'idée de performance et indiquent que le niveau culminant de maturité d'une organisation éducative est l'excellence académique. Arianpoor et Abdollahi (2024) affinent cet objectif en considérant l'excellence comme la satisfaction des besoins professionnels. Pour Icela et *al.* (2023), la maturité numérique est atteinte quand l'organisation éducative réalise des objectifs de durabilité, d'innovation et d'apprentissage inclusif, qui permettent d'avoir une convergence équilibrée entre transformations numériques et valeurs humaines, pour atteindre une société durable (qu'ils nomment « société 5.0 »). Stewart et Dewan (2022), en revanche, ne considèrent pas l'objectif final comme un bon mode de spécification et préfèrent considérer les moyens que se donnent les institutions pour la prise de décision/gouvernance éclairée, réalisée en particulier par l'exploitation de données pour l'analyse de l'apprentissage ou la formation.

La maturité se matérialise ainsi par le niveau de sophistication des outils et processus d'intelligence décisionnelle (ou *business intelligence*) utilisée ou construite par l'organisation éducative. Pour préciser et mettre en œuvre cette idée, de nombreux modèles de maturité numérique dans le contexte de l'éducation se centrent ainsi sur l'adoption des Learning Analytics (LA) dans des établissements d'enseignement. On peut citer le LAAMF (LA *Adoption Maturity Framework*) (Anicic *et al.*, 2022) ou le MMALA (*Maturity Model for Adopting Learning Analytics*) (Freitas *et al.*, 2024). La maturité numérique dans ce contexte reflète la capacité institutionnelle à intégrer des environnements hybrides ou analyser plus globalement d'autres données éducatives, pour améliorer les résultats pédagogiques et optimiser les processus d'apprentissage et d'enseignement, en adaptant l'infrastructure, les pratiques, la pédagogie, l'éthique ou plus transversalement la stratégie.

Ainsi, les recherches (Thordsen et Bick, 2023) convergent sur l'idée que la maturité numérique est un processus multidimensionnel et progressif, lié à la transformation

numérique et à l'amélioration continue. Autrement dit, la maturité est un processus d'appropriation des solutions numériques critiques pour l'activité professionnelle de l'organisation (Babkin *et al.*, 2022). Les modèles divergent en revanche sur les dimensions prioritaires, les méthodologies d'évaluation, et la standardisation des critères, ce qui complique les comparaisons entre les organisations. Dans le champ de l'éducation, l'objectif global que sert une plus grande maturité numérique est l'amélioration des résultats pédagogiques. Les principaux facteurs de développement de cette maturité sont : la capacité des enseignants à développer des compétences techno-pédagogiques, la capacité des institutions d'une part à leur donner accès à des situations hybrides pour mettre en œuvre ces compétences et d'autre part à développer des moyens de supervision des évolutions observables à partir de données, en particulier les *Learning Analytics* (LA) et les *Teaching Analytics* (TA).

2.3 LA MATURITE NUMERIQUE DES ENSEIGNANTS ET LES *TEACHING ANALYTICS*

Les méthodes conventionnelles de mesure de la maturité s'appuient sur des questionnaires autodéclarés, qui offrent des perspectives limitées sur l'intégration des outils numériques en classe (Backfisch *et al.*, 2021 ; Fernández Batanero *et al.*, 2020). En effet, de tels instruments ne permettent pas de saisir le contexte réel de la classe. En outre, les auteurs soulignent l'imprécision des réponses, les enseignants n'étant pas toujours en mesure d'évaluer avec précision leurs propres usages. Enfin, la nature déclarative des données collectées ne permet pas toujours d'apprécier l'évolution des usages, témoignant pourtant de processus d'appropriation (Michel et Pierrot, 2023). Pour pallier ces limites, nous proposons d'utiliser les TA, des méthodes guidées par les données pour évaluer la maturité sur la base des usages observés. Ces techniques s'appuient sur l'analyse d'ensembles de données pour aider à informer les processus d'enseignement (Mougiakou *et al.*, 2023). Le principal avantage de cette approche est qu'elle fournit des données quantifiables et objectives, ce qui représente un atout dans la compréhension des usages numériques (Ndukwe, 2021).

Investies en parallèle des LA, les techniques de TA sont moins répandues que les LA dans la littérature. Essentiellement, elles sont appliquées dans le but d'informer sur l'activité des élèves, de recommander des actions de remédiation et d'évaluer les enseignements (Bennacer, 2022). Quelques travaux (Albó *et al.*, 2019 ; Bennacer, 2022 ; Prieto *et al.*, 2016 ; Suehiro *et al.*, 2017) s'intéressent à l'analyse du comportement des enseignants et visent à proposer des indicateurs mesurables pour accompagner la réflexivité des enseignants sur leurs propres pratiques (Ifenthaler et Yau, 2022). Pour cela, certains auteurs mobilisent l'analyse de séries temporelles pour suivre l'évolution des activités d'enseignants et les catégoriser (Prieto *et al.*, 2016 ; Suehiro *et al.*, 2017), mais plus largement ils utilisent des techniques statistiques telles que la prise en compte de la moyenne et l'écart type (Albó *et al.*, 2019) ou l'identification de corrélations (Bennacer, 2022).

En ce qui concerne l'analyse de la maturité numérique, les méthodes reposent principalement sur la classification (Twilt, 2023) pour identifier des comportements similaires qui peuvent révéler différents niveaux de maturité numérique. La classification automatique peut être abordée par deux méthodes principales : supervisée et non supervisée.

La classification supervisée consiste à définir des règles a priori permettant d'affecter des objets à des classes données, selon les valeurs des variables qualitatives ou quantitatives caractérisant ces objets. Ce type de classification suppose donc de disposer de données étiquetées sur lesquelles l'analyse est conduite. Cette technique ne permet pas d'introduire, au cours de l'analyse, des données autres que celles identifiées au départ. Une autre

technique de classification supervisée est l'arbre de décision, mobilisé pour identifier les interactions entre des apprenants et enseignants dans un environnement d'apprentissage (Prieto *et al.*, 2016). Si cette technique contribue à identifier les interactions autour des activités d'apprentissage, son application à l'activité de l'enseignant reste limitée, car il est difficile de définir au préalable ses interventions.

La même approche de système de règles/arbre de décision a été utilisée pour classer les enseignants du premier degré de l'Académie de Paris à partir des usages (identifiés avec leurs traces d'activité) de leur ENT (7261 enseignants suivis sur l'année scolaire 2022-2023 (Michel *et al.*, 2024). Huit règles de classification ont permis de regrouper les enseignants en 3 groupes principaux et 8 sous-groupes selon leur niveau de maturité. La maturité a été caractérisée en fonction de la diversité des services utilisés au cours de l'année. Pour faciliter la lecture et l'analyse à grande échelle, les résultats sont présentés dans un tableau de bord. En effet, c'est le principal outil utilisé pour restituer l'activité de l'enseignant (Ifenthaler et Yau, 2022 ; Ndukwe, 2021). Sa conception est guidée par plusieurs principes pour faciliter la visualisation des indicateurs : possibilités de retour d'information, prise en compte des préférences de l'utilisateur et formes d'aide à la régulation (Luo, 2020). Le choix d'un mode de visualisation interactive peut faciliter son utilisation par les usagers finaux (Gril, 2023).

Dans le cas de l'Académie de Paris, le tableau de bord utilise la classification supervisée pour produire des groupes imbriqués (groupe, sous-groupe) (voir Figure 1). Le tableau de bord s'appuie sur un graphique de type *sunburst* (à gauche), qui organise les usages selon les groupes imbriqués, puis en domaines et activités. Sur la droite, des histogrammes montrent le nombre d'enseignants (en pourcentage) par domaine et par activité. Bien que ces graphes soient intrinsèquement plus complexes que les autres, leur nature interactive peut en faciliter la lecture : les utilisateurs peuvent zoomer sur la zone circulaire qui les intéresse, sélectionner des filtres, afficher des informations contextuelles et naviguer. Dans le cas de cette recherche, différents modes d'interaction sont utilisés pour favoriser la lecture et de la prise de décision (voir Figure 2). Une vignette flottante décrit chaque zone du *sunburst* lorsque l'on passe la souris dessus. Un clic sur une zone du *sunburst* permet de se concentrer sur les éléments qui la composent. Deux fonctions de filtrage permettent de sélectionner le niveau dans lequel évoluent les enseignants (primaire, secondaire) ou leur école. Un clic sur les activités présentées à droite permet de voir les autres groupes et sous-groupes qui réalisent cette activité.

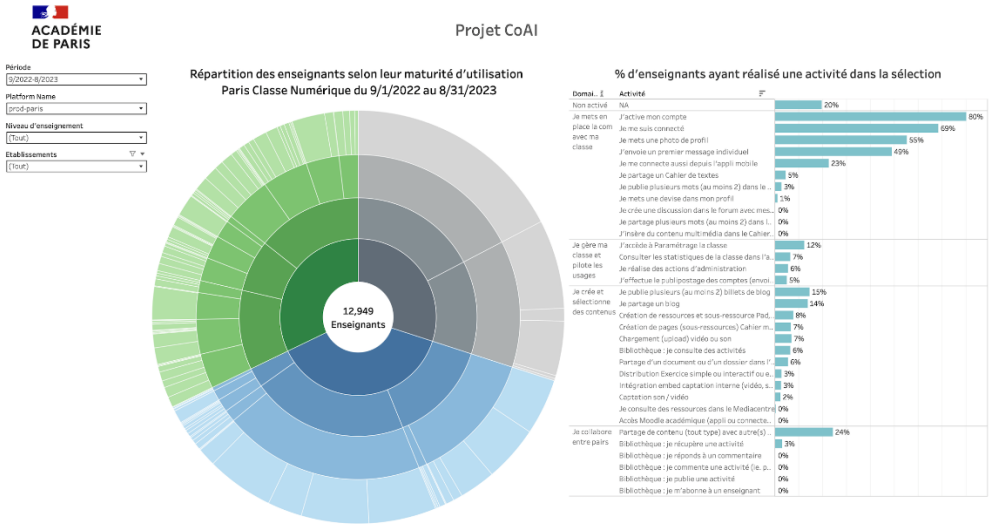


Figure 1 : Tableau de bord du projet CoAI

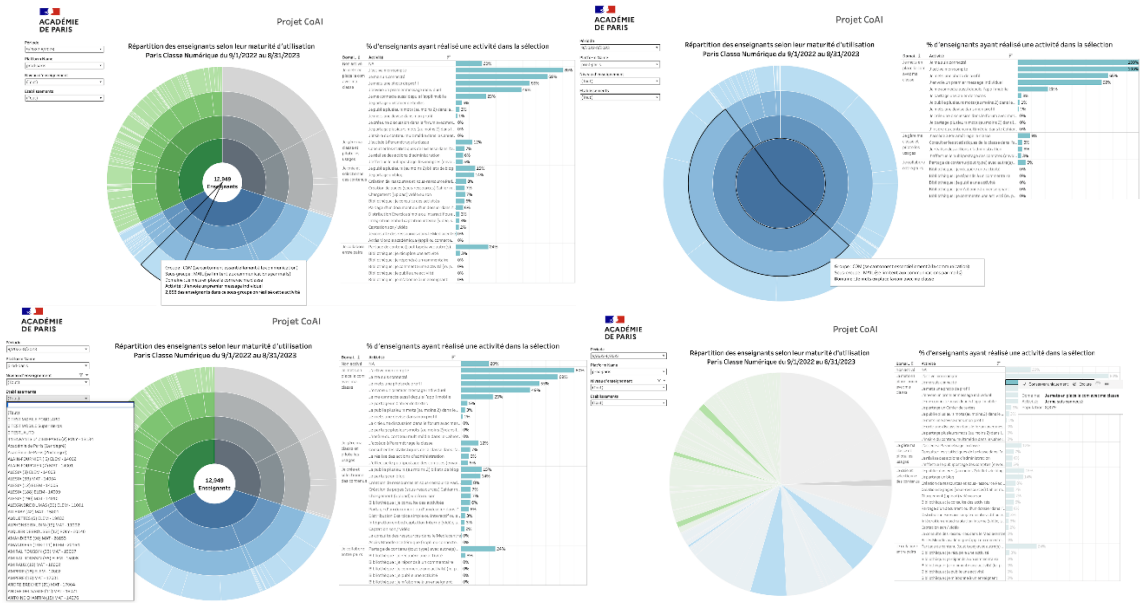


Figure 2 : Modes d'interaction : Survoler, Focaliser, Filtrer, Actions conjointes

La classification non supervisée (K-Means ou Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) par exemple) organise l'ensemble des observations de façon à regrouper les observations similaires et à séparer les observations dissimilaires de manière à avoir des catégories, classes, taxons, clusters homogènes. Par exemple, des comportements d'enseignants en termes d'utilisation de services de documentation ont été obtenus par la méthode des K-Means (Xu et Recker, 2012). L'étude a permis de distinguer trois clusters, en fonction de leurs usages des services de documentation. La technique des K-Means est répandue du fait de sa simplicité et sa rapidité d'application (Bharara *et al.*, 2018). Elle présente, pour les auteurs, la limite de devoir fixer au préalable un nombre de clusters attendus (K) dans le jeu de données et donc de ne pas pouvoir adapter le nombre de classes en fonction des résultats. La CAH en revanche regroupe progressivement les données dans une arborescence de clusters ou hiérarchie de regroupements (appelée dendrogramme), qui permet de choisir le nombre de classes utiles pour l'analyse, a posteriori, en fonction des critères de regroupement identifiés. Par exemple, à partir de traces d'activités d'usagers sur un système de tutorat intelligent, une CAH a été lancée pour distinguer des groupes selon leurs usages du système (Pazmiño-Maji *et al.*, 2017). Avec le dendrogramme, la classification a pu être ajustée à quatre groupes représentatifs des variables les plus significatives de l'étude. La CAH peut ainsi fournir une information plus riche sur la structure de similarité des données et contribue à déterminer un nombre de clusters cohérent avec les regroupements observés. Toutefois, la CAH présente une complexité algorithmique plus élevée, ce qui la rend moins adaptée aux très grands jeux de données. Elle est donc souvent réservée à des échantillons de taille modérée.

Dans l'étude précédente sur les usages des enseignants du premier degré de l'Académie de Paris (Michel *et al.*, 2024), une expérimentation complémentaire a été réalisée pour tester d'une part la capacité de la classification non supervisée CAH à identifier les groupes d'enseignants à partir des données et pas de règles a priori, et d'autre part l'utilité d'une mesure complémentaire de l'intensité des usages pour que le calcul de la maturité soit plus complet. Ce choix se justifie par le fait que la littérature sur les pratiques enseignantes souligne une hétérogénéité forte, rendant pertinentes des analyses exploratoires capables d'identifier des profils d'usages. Les catégorisations obtenues par cette méthode n'ont pas

de visée normative ; elles visent à mieux comprendre les dynamiques en œuvre. Le tableau de bord a pu être mis en œuvre en utilisant la CAH sur les données d'intensité et diversité. La figure 3 présente les visualisations de ces deux résultats. Les groupes sont plus fins et les deux indicateurs, diversité et intensité, sont différents, mais cohérents, ce qui montre que ces deux axes d'observation sont utiles et complémentaires pour analyser la maturité. Mais à ce stade, il est difficile de définir comment les combiner.

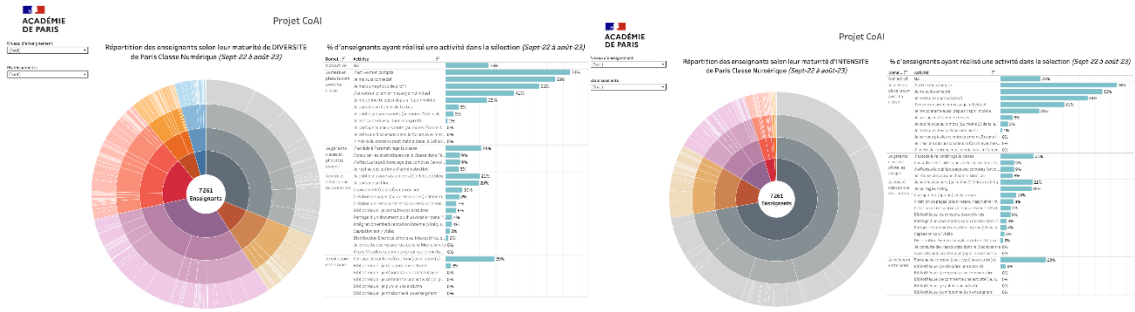


Figure 3 : Tableau de bord de la gestion de la maturité : diversité (gauche) et intensité (droite) de la population primaire (n=7261)

2.4 QUESTIONS DE RECHERCHE

Pour évaluer la maturité numérique des enseignants, une approche axée sur les données offre l'avantage d'une analyse précise, mais nécessite un travail préparatoire de vérification de la qualité des données, ainsi que de modélisation et de compréhension des données (Ndukwe, 2021). Le prétraitement des données consiste à s'assurer que les données disponibles permettent de répondre à l'objectif d'observation (Romero et Ventura, 2020). Pour passer de données brutes à des données porteuses de sens, cette étape implique la transformation des données dans une démarche de *feature engineering*. Les indicateurs qui en résultent et les visualisations doivent être clairs et explicites pour que les utilisateurs finaux puissent les comprendre tout en conservant une pertinence théorique (Gril, 2023 ; McCoy et Shih, 2016).

Cependant, la plupart des travaux qui traitent des TA se situent au niveau micro ou méso, c'est-à-dire dans un contexte précis, au niveau individuel ou d'une organisation. Peu de travaux passent à l'échelle et questionnent les traitements à opérer au niveau macro, c'est-à-dire pour analyser la maturité numérique d'un territoire ou la maturité numérique des enseignants d'un territoire.

De plus, si pour toutes ces techniques la question de la fiabilité de l'analyse se pose, elle s'exprime différemment à l'échelle macro. À ce sujet, des alertes ont pu être avancées sur la tension entre d'une part, une nécessaire standardisation des données et d'autre part, une complexité des situations éducatives observées (Collin, 2024). De plus, certains traitements sont réalisables au niveau micro et méso, comme les CAH, mais plus difficilement au niveau macro. En effet, des infrastructures plus puissantes doivent être utilisées et elles peuvent être difficilement accessibles dans certains secteurs professionnels, en particulier pour certains laboratoires de recherche. Une solution alternative consiste à opérer des traitements par partie et à agréger ensuite les résultats des calculs pour recomposer le corpus dans sa totalité, mais il est difficile de savoir si les résultats des classifications gardent la même cohérence quand ils sont opérés sur les parties de corpus. Par ailleurs, pour raisonner plus globalement, il est actuellement impossible de savoir quelles techniques sont les plus sobres numériquement et seront pérennes à plus long terme.

L'enjeu est donc non seulement de pouvoir définir des méthodes utilisables à grande échelle pour caractériser et visualiser les niveaux de maturité d'un territoire, d'un établissement ou d'un enseignant à partir de données, mais aussi de pouvoir en contrôler la validité, en particulier concernant leur capacité à bien représenter les facteurs contextuels, pour que les décideurs puissent faire les bons choix de traitement en fonction de leurs possibilités de gestion et de calculs sur les données.

Ainsi, notre question générale de recherche est : quelle méthode utiliser pour définir le niveau de maturité à grande échelle à partir des TA ? Plus spécifiquement : quelle méthode utiliser pour (QR1) structurer les données et (QR2) les visualiser à l'échelle d'un territoire, tout en préservant un niveau de précision suffisant pour rendre compte des variabilités possibles liées au contexte ? Dans le cas de cette étude, les éléments du contexte qui sont pris en compte sont : le niveau d'enseignement et l'académie d'exercice des enseignants. La maturité numérique des territoires ou des établissements est caractérisée à partir de la maturité numérique des enseignants.

3. PROCESSUS ADOPTE POUR L'EVALUATION DE LA MATURITE NUMERIQUE

3.1 OBJECTIF DE L'ETUDE

L'étude vise plusieurs objectifs :

- évaluer la robustesse de notre méthode au regard des contraintes algorithmiques ; en contrôlant spécifiquement les éventuels effets de travailler à partir d'échantillons sur les résultats des classifications quand les calculs sur la population totale sont techniquement impossibles ;
- évaluer la précision/capacité de notre méthode (Michel *et al.*, 2024) pour représenter les différences potentielles liées au contexte exprimé selon le niveau d'enseignement (1er degré/1D et 2d degré/2D), l'académie (Paris, Bordeaux, Poitiers, Limoges) et la région (Île-de-France, Nouvelle-Aquitaine) ;
- proposer de nouvelles formes de visualisations plus précises pour analyser le contexte.

3.2 CONTEXTE ET CORPUS DE DONNEES DE TRAVAIL

Les sections suivantes présentent les étapes de l'évaluation, notamment l'acquisition de données à partir de l'ENT, la vérification de la qualité des données, ainsi que la modélisation et la compréhension des données (Ndukwe, 2021). Cette méthode a été réalisée dans le cadre des projets CoAI et Tea-TIME pour comprendre la complexité de la maturité numérique d'enseignants dans deux zones académiques.

La collecte principale des données est réalisée à partir des usages des ENT One et Neo. Les ENT sont fournis à tous les enseignants d'une académie, conformément aux directives du gouvernement français (Michel et Pierrot, 2023). L'ENT est utilisé quotidiennement par les enseignants, générant des journaux d'activité qui peuvent être analysés du point de vue

des TA (Ndukwe, 2021). Ces enseignants du primaire et du secondaire ont tous à leur disposition cette solution (One ou Neo), conformément au schéma directeur des ENT[3].

Une collecte de données secondaire est réalisée à partir de deux sources complémentaires pour mieux caractériser le contexte des établissements : un jeu de données de la DEPP[4] (Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance) accessible en *open data* et relatives à la description des établissements par région et académie, et les données commerciales de l'entreprise EDIFICE, relatives à la date du 1er déploiement de l'ENT dans les établissements.

Le corpus de données est ainsi composé des niveaux de maturité de 38747 utilisateurs répartis dans deux régions, la Nouvelle-Aquitaine (25 839 utilisateurs) et l'Île-de-France (12 908 utilisateurs), et quatre académies : Bordeaux, Limoges, Poitiers et Paris. Le traitement qui avait été utilisé précédemment (Michel *et al.*, 2024), a été reproduit pour identifier les niveaux de maturité des enseignants à partir de leurs traces d'activité avec l'ENT. Les enseignants sont inscrits dans l'ENT à partir des informations transmises par les académies avant la rentrée. Les données étant pseudonymisées, nous ne disposons que de deux informations à propos des enseignants : le niveau dans lequel ils enseignent (primaire « 1D » ou secondaire « 2D ») et le nom de l'établissement d'affectation. Certains cas (nomination ou mutation des enseignants, par exemple) nécessitent une inscription manuelle à partir des informations de l'académie ou des établissements ; ces ajouts ne comportent pas toujours d'information sur le niveau et l'établissement d'affectation. De plus, des utilisateurs non enseignants, mais parties prenantes dans le champ de l'éducation (INSPE, Réseau Canopé, personnels administratifs ou de direction de la région ou de l'académie…), sont aussi inscrits comme utilisateurs de l'ENT. Ainsi, le corpus de données comporte des valeurs non renseignées ou n'ayant pas de correspondance avec les fichiers de la DEPP. Enfin, les écoles de Nouvelle-Aquitaine qui choisissent d'utiliser l'ENT One le font directement, et ne renseignent, de la même manière, pas complètement les données liées aux enseignants.

De manière à travailler sur des données consolidées, nous avons uniquement gardé les données relatives aux enseignants, c'est-à-dire pour lesquelles nous disposons de l'information du niveau d'enseignement et de l'établissement d'affectation, soit 36 997 personnes (voir Tableau 1).

Tableau 1 : Description du corpus de données

Région	**Académie**	**Niveaux**		**Total**
		1D	2D	
Nouvelle-Aquitaine	Bordeaux		14 644	14 644
	Limoges		3 374	3 374
	Poitiers		7 082	7 082
Île-de-France	Paris	8 255	3 642	1 1897
Total		**8 255**	**28 742**	**36 997**

[3]https://eduscol.education.fr/1559/schema-directeur-des-ent-sdet-version-en-vigueur
[4]https://www.education.gouv.fr/direction-de-l-evaluation-de-la-prospective-et-de-la-performance-depp-12389

3.3 TRAITEMENT ET STRUCTURATION DES DONNEES POUR L'ANALYSE

Le corpus de données initial correspond à l'activité des utilisateurs sur 55 services disponibles sur les ENT One et Neo. Ces données, collectées grâce à des capteurs, sont consignées dans un journal d'activité. Chaque tâche réalisée par un utilisateur incrémente un compteur dans le fichier journal mentionnant combien de fois l'action a été réalisée sur la période de l'année scolaire 2022-2023. Ce compteur permet de mesurer et représenter l'intensité d'utilisation des services. Par exemple, la tâche de *partage d'une ressource dans l'espace documentaire* est quantifiée entre 0 et 612 occurrences en Nouvelle-Aquitaine. Des données binaires ont été dérivées de ce fichier journal pour indiquer si une action a été réalisée au moins une fois sur la période. Ce compteur binaire représente le potentiel d'un utilisateur à découvrir les services de l'ENT et donc la diversité de son activité. Il a l'avantage de ne pas sous-évaluer des usages rares, comme le fait de *mettre à jour sa photo de profil*, par nature moins fréquent que l'action de *se connecter*.

Le choix des capteurs, et donc de la collecte de trace d'activité, a été guidé par le référentiel de compétences numériques en éducation DigCompEdu (Redecker, 2017). Ce choix est justifié par le fait qu'il est adapté au contexte français, car conçu par la Commission européenne[5]. Il a d'ailleurs déjà été choisi par le ministère de l'Éducation nationale pour évaluer les compétences numériques des enseignants, au travers du programme Pix+Edu. À moyen terme, nos résultats pourront être comparés, ou compléter les résultats produits dans le cadre de Pix+Edu. Pour cette étude, seul le domaine D1 (engagement professionnel) du DigCompEdu a été modélisé pour représenter la maturité numérique. Cela s'explique par sa correspondance avec les activités tracées. Les domaines D3 (enseignement et apprentissage) et D4 (évaluation) par exemple sont plus directement liés à la pédagogie et plus complexes à modéliser à partir des traces d'activité, car les usages numériques des enseignants se font sur des plateformes externes à l'environnement scolaire et en dehors de la classe (OCDE, 2019). Le domaine D1 se décline en 4 objectifs pour les enseignants : la communication organisationnelle (1.1), la collaboration professionnelle (1.2), les pratiques réflexives (1.3) et le développement professionnel continu numérique (1.4).

Afin d'illustrer la mise en œuvre de ces objectifs dans une activité professionnelle réelle, cinq cas d'utilisation ou domaine d'usage ont été définis pour représenter la maturité numérique en termes d'engagement professionnel : (1) se connecter, (2) établir la communication avec la classe, (3) créer et sélectionner des contenus, (4) gérer la classe et suivre les usages, et (5) collaborer avec les pairs. Le choix des cas d'usage a été réalisé en collaboration avec : les responsables du service du développement numérique de l'académie de Paris (pour garantir qu'ils sont cohérents vis-à-vis de leurs retours d'expérience de terrain) et l'équipe de gestion des données de l'entreprise (pour évaluer les possibilités de collecte des données d'activité liées). Les capteurs ont été associés aux dimensions du référentiel D1 et aux cinq cas d'usage. Par exemple, la tâche « partage de ressource dans l'espace documentaire » a été associée à la collaboration professionnelle (D1.2) et à la création et sélection de contenu (cas d'usage 3). Les données liées à des capteurs non assez fiables pour représenter les activités ciblées dans le domaine D1 ont été supprimées, ce qui a permis de réduire les 55 variables à 33 pertinentes (voir Tableau 2).

Les variables ont ensuite été regroupées selon les 5 domaines d'usage en réalisant une somme, ce qui permet d'avoir deux fichiers de données plus synthétiques : *DomaineDiv* et *DomaineInt.* Chaque enseignant est donc caractérisé par 14 variables :

[5] https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en

- 4 variables de contexte : *Niveau, Établissement, Académie, Région ;*
- 5 variables de diversité d'usage (D, calculées à partir des valeurs binaires de connexions) : *D-Connexion, D-comm-classe, D-création&sélection, D-collaboration, D-gestion* ;
- 5 variables d'intensité d'usage (I, calculées à partir du volume des connexions) : *I-Connexion, I-comm-classe, I-création&sélection, I-collaboration, I-gestion.*

Tableau 2 : Variables dérivées des journaux d'activité

Domaine	Activité	Mesure de diversité	Mesure d'intensité
Connexion	0 - Je me suis connecté (au moins une fois) 8 - Je me connecte aussi depuis l'appli mobile	DomaineDiv : 0/1 par variable selon que l'action a été réalisée au moins une fois sur la période	DomaineInt : Nombres d'actions réalisées par variable sur la période
Communication avec la classe	1 - J'active mon compte 4 - Je mets une photo de profil 2 - J'envoie un premier message individuel 10 - Je partage un Cahier de textes 50 - Je publie plusieurs mots (au moins 2) dans le Carnet de liaison 5 - Je mets une devise dans mon profil 65 - Je crée une discussion dans le forum avec mes élèves 11 - Je partage plusieurs mots (au moins 2) dans le Carnet de liaison 51 - J'insère du contenu multimédia dans le Cahier de textes		
Création, sélection ou publication de ressources pour la classe	64 - Je publie plusieurs (au moins 2) billets de blog 9 - Je partage un blog 40 - Création de ressources et sous-ressources Pad, frise, Mur, wiki, Carte mentale, Pages 35 - Création de pages (sous-ressources) Cahier multimédia 38 - Chargement (upload) vidéo ou son 14 - Bibliothèque : je consulte des activités 48 - Partage d'un document ou d'un dossier dans l'Espace documentaire 36 - Distribution Exercice simple ou interactif ou entrainement 26 - Intégration embed captation interne (vidéo, son) 39 - Captation son / vidéo 28 - Je consulte des ressources dans le Mediacentre 63 - Accès Moodle académique (appli ou connecteur Moodle)		
Collaboration entre enseignants	17 - Partage de contenu (tout type) avec autre(s) enseignant(s) 15 - Bibliothèque : je récupère une activité 22 - Bibliothèque : je réponds à un commentaire 16 - Bibliothèque : je commente une activité 19 - Bibliothèque : je publie une activité 21 - Bibliothèque : je m'abonne à un enseignant		
Gestion de la classe dans l'ENT	66 - J'accède à Paramétrage la classe 24 - Consulter les statistiques de la classe dans l'appli Statistiques 67 - Je réalise des actions d'administration 68 - J'effectue le publipostage des comptes (envoi mail/édition des fiches) depuis Paramétrage de la classe		
Non utilisé	3 - Je renseigne mon mail ou je vérifie qu'il est renseigné		
	6 - J'envoie un premier message à un groupe (Pas forcément à un groupe)		
	52 - Utiliser le linker (avec lien interne) (seulement actus, blogs et formulaires)		
	60 - Partage de contenu en contribution élèves		

3.4 IDENTIFICATION DES NIVEAUX DE MATURITE

La méthode expérimentée sur la population PCN-1D (Michel *et al.*, 2024) a été adaptée pour calculer les niveaux de maturité des enseignants à partir des données *DomaineDiv* (diversité des usages), et des données *DomaineInt* (intensité des usages).

Les enseignants non utilisateurs ont été regroupés dans une classe Cl0. Pour chaque segment, deux classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) ont été réalisées : la première en considérant les 5 variables d'intensité d'usage, et l'autre en considérant les 5 autres de diversité. Cette approche, également connue sous le nom de *clustering* agglomératif, regroupe les individus les plus proches, ici selon leurs comportements d'usage, en utilisant une métrique euclidienne pour calculer les distances entre individus. La méthode de Ward a été appliquée pour garantir l'homogénéité des classes obtenues à chaque étape du regroupement et identifier le nombre optimal de classes automatiquement en fonction de l'inertie. Chaque CAH produit un dendrogramme (voir Figure 4). Il permet de visualiser la

structure des regroupements et le niveau de troncature appliqué. À titre d'exemple, la figure 4 présente les dendrogrammes présentant les classes identifiées pour les données d'intensité (à gauche) et de diversité (à droite) pour l'Académie de Paris. Les numéros des classes ne portent pas d'information liée au niveau de maturité. Comme nous le verrons par la suite, l'interprétation des caractéristiques des classes se fait manuellement. Néanmoins, la structure du dendrogramme, qui montre les différences entre les classes, est interprétable. On peut voir qu'en termes de diversité, les enseignants suivent deux grandes catégories de comportements distincts (C1-C3-C4 et C2-C6-C5), alors qu'en intensité deux classes sont à part et ont des caractéristiques similaires (C3-C1) tandis que les autres sont emboitées (C4-C2-C6-C5). Dans chaque cas, intensité et diversité, 6 classes homogènes ont été retenues permettant, avec Cl0, de construire 7 classes au total. Le choix de 6 classes a été fait après avoir constaté que c'était le nombre optimal de classes selon la méthode de Ward dans la plupart des cas.

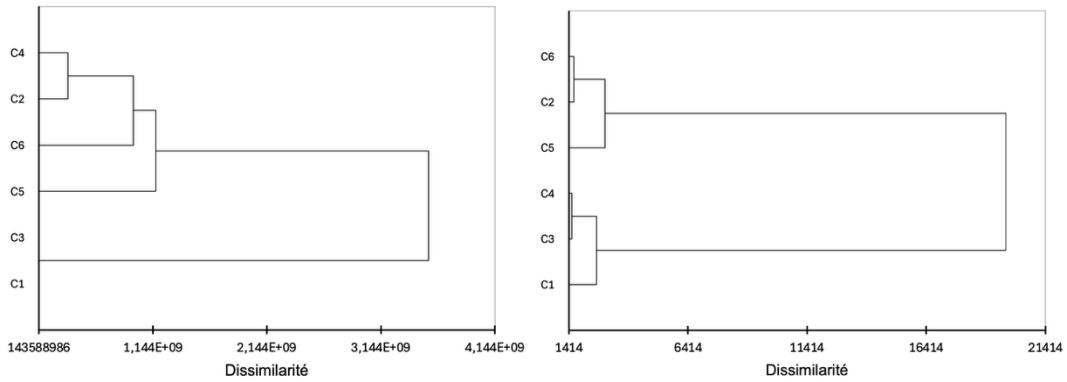


Figure 4 : Dendrogrammes produits lors des CAH : à gauche CAH-intensité, à droite CAH-diversité

La CAH n'ordonne pas les classes selon leur niveau de maturité. Cet ordonnancement a été réalisé en utilisant une moyenne pondérée qui affecte un poids différent aux grands domaines d'usage (connexion, collaboration, gestion…) en fonction des comportements observés dans le segment. En effet, de nombreuses études ont montré que les enseignants ont plus de facilité à développer certains usages, comme la communication, et plus de difficulté à en développer d'autres comme la collaboration ou la gestion instrumentée de la classe (Backfisch *et al.*, 2021 ; Michel et Pierrot, 2023). Le fait de mettre un poids plus fort sur les domaines d'usage complexes permet de mieux ordonner les niveaux de maturité en intensifiant les valeurs des mesures plus marginales, car de niches ou d'innovation potentielle. Notre hypothèse est que les classes de bas niveau, avec un niveau de maturité moins développé, sont caractérisées par les usages les plus usuels ou simples, les classes de haut niveau, les plus matures, sont caractérisées par les usages les plus élaborés ou originaux (jugés de haut niveau en termes de maturité, car plus complexes à réaliser). Ce processus a permis de qualifier les classes selon le niveau de maturité M0 à M6, pour chaque CAH.

Le niveau de *maturité globale* a été calculé à partir du produit de la maturité en termes d'intensité et celle en termes de diversité. Il est aussi possible de réaliser un calcul de maturité à partir de la somme, mais le produit permet d'amplifier les effets de l'intensité ou de la diversité et distingue ainsi mieux les enseignants. Les enseignants se répartissent ainsi selon 81 niveaux de maturité.

3.5 SEGMENTATION DU CORPUS

Le corpus a été restructuré pour segmenter la population en 8 échantillons/groupes d'enseignants (voir Tableau 3) qui correspondent aux caractéristiques du contexte qui nous intéresse : le niveau d'enseignement (1er degré/1D et 2d degré/2D), l'académie (Paris, Bordeaux, Poitiers, Limoges) et la région (Île-de-France, Nouvelle-Aquitaine). La méthode de mesure a été réalisée sur les 8 segments. Cela a permis de produire 16 mesures de maturité numérique : 8 en termes d'intensité et 8 en termes de diversité.

Tableau 3 : Caractéristiques de composition des 8 segments (2D-BDX, 2D-LMG, 2D-POI, 1D-PCN, 2D-PCN, 2D-NA, 1D2D-PCN, 2D-NA+PCN)

Région	**Académie**	**Niveaux**		**Total**
		1D	2D	
Nouvelle-Aquitaine	Bordeaux		2D-BDX	2D-NA
	Limoges		2D-LMG	
	Poitiers		2D-POI	
Île-de-France	Paris	1D-PCN	2D-PCN	1D2D-PCN
Total			2D-NA+PCN	

4. ÉVALUATION DE LA METHODE DE MESURE DE LA MATURITE : ANALYSE DE LA FIABILITE DES CLASSIFICATIONS

Notre première question de recherche est de savoir si la CAH est dépendante de la forme des segments d'analyse lorsqu'ils sont réalisés en fonction du contexte de l'étude, en d'autres termes, dans quelle mesure il est comparable, pour faire les classifications, de travailler en une fois sur le corpus total de données, ou bien en plusieurs fois sur des segments de corpus caractérisés selon les facteurs contextuels (niveau d'enseignement et académie). Nous avons calculé le coefficient ω de McDonald pour évaluer la fiabilité (ou fidélité) de ces deux modes de calcul de la maturité numérique. Ce coefficient mesure la proportion selon laquelle des différences observées dans un corpus de données reflètent une variance réelle et commune aux variables étudiées. Ce calcul permet donc d'indiquer à quel point l'ensemble des variables évalue un même construit de manière fiable, dès lors que le coefficient dépasse une valeur seuil de 0,7.

Le Tableau 4 présente les comparaisons effectuées. La ligne A1 (resp. A2) compare les résultats des calculs de la maturité des enseignants du second degré en termes d'intensité (resp. de diversité) selon qu'ils sont faits de manière segmentée par type d'académie (2D-BDX, 2D-LMG, 2D-POI, 2D-PCN) puis agrégés (2D.Ag(4A)), ou en une fois (2D.NA+PCN). La ligne A3 (resp. A4) compare les résultats des calculs de la maturité des enseignants de l'académie de Paris (PCN) en termes d'intensité (resp. de diversité) selon qu'ils sont faits de manière segmentée par niveau d'enseignement (1D-PCN, 2D-PCN) puis agrégés (PCN.Ag(1D+2D)), ou en une fois (1D2D.PCN). La ligne A5 (resp. A6) compare les résultats des calculs de la maturité en termes d'intensité (resp. de diversité) pour un segment lorsque l'analyse est réalisée à partir de deux extractions différentes. Ici, les résultats pour les enseignants du second degré de l'Académie de Paris (2D-PCN) sont comparés selon que les calculs ont été réalisés sur deux sous-corpus construits

différemment : les enseignants de l'Académie de Paris (1D2D-PCN) et les enseignants du second degré toutes régions confondues (2D-NA+PCN).

Pour chaque comparaison, les analyses se font sur le même nombre d'observations. Le but de ces comparaisons est de vérifier si les classifications d'un segment restent cohérentes lorsque l'on segmente ou regroupe les données différemment. Les valeurs de l'Alpha de Cronbach pour chaque comparaison entre deux classifications, présentées dans le tableau 4, nous permettent d'évaluer cette fidélité.

Tableau 4 : Comparaison des classifications selon l'homogénéité des facteurs contextuels, niveau d'enseignement et académie dans les corpus utilisés

A	Nb Obs	Classification 1	Classification 2	ω de McDonald
A1	28742	2D.NA+PCN-Int	2D.Ag(4A)-Int	0,877
A2	28742	2D.NA+PCN-Div	2D.Ag(4A)-Div	0,964
A3	11897	1D2D.PCN-Int	PCN.Ag(1D+2D)-Int	0,975
A4	11897	1D2D.PCN -Div	PCN.Ag(1D+2D)-Div	0,872
A5	3642	2D.Ex(1D2D-PCN)-Int	2D.Ex(2D-NA+PCN)-Int	0,937
A6	3642	2D. Ex(1D2D-PCN)-Div	2D.Ex(2D-NA+PCN)-Div	0,677

Les comparaisons A1, A2, A3, A4 ont toutes des coefficients ω de McDonald supérieurs à 0,7, ce qui suggère que les différentes segmentations aboutissent à des structures de maturité numérique comparables entre elles. Ainsi, lorsque le contexte « niveau » (respectivement « académie ») est le même pour caractériser les enseignants, il est équivalent de travailler sur des classifications des niveaux de maturité en globalité ou par parties découpées selon les académies (respectivement les niveaux). En revanche, si on observe les résultats de A6, on peut constater une baisse du coefficient de McDonald (ω = 0,677). Cette baisse suggère que la fidélité des classifications diminue quand le découpage des données s'appuie sur des structurations des données différentes : selon le niveau (toutes académies confondues) ou selon l'académie (tous niveaux confondus). Cette observation ne vaut pas pour la maturité en termes d'intensité (A5).

En considérant que les comparaisons A1 à A4 génèrent peu d'erreurs, si le volume de données est trop conséquent pour réaliser une analyse globale en une fois, il est possible de travailler sur des segments du corpus et d'agréger les résultats, sous réserve de ne segmenter que sur un critère de contexte (niveau d'enseignement ou académie).

5. VISUALISATIONS A GRANDE ECHELLE DE LA MATURITE NUMERIQUE DES ENSEIGNANTS

Les visualisations sous la forme de *sunburst* présentées dans les figures 2 et 3 permettent d'avoir deux vues structurées de la répartition de la maturité en intensité et en diversité sur de larges populations. Cette représentation présente deux limites : (1) la maturité globale, qui combine diversité et intensité, n'est pas prise en compte, (2) le système de filtrage, qui permet d'analyser plus en détail un contexte, ne permet pas de comparer deux contextes ou plus. Nous proposons de travailler sur des visualisations de la maturité des enseignants sous la forme d'un nuage de points, chaque point représentant un enseignant.

5.1 VISUALISATION COMBINEE

La première visualisation sur laquelle nous avons travaillé (voir Figure 5) consiste à organiser les enseignants dans un nuage de points portant, sur l'axe des x, la maturité en termes de diversité, et sur celui des y, celle en termes d'intensité. Pour pallier l'inconvénient de la superposition des points qui ne permet pas de voir le nombre d'enseignants concernés par un niveau de maturité, des histogrammes de fréquence ont été ajoutés en x et en y. Les histogrammes permettent bien d'analyser la volumétrie des niveaux, mais la visualisation manque de perspective, les points se superposent, ce qui ne permet pas de comparer les différents segments.

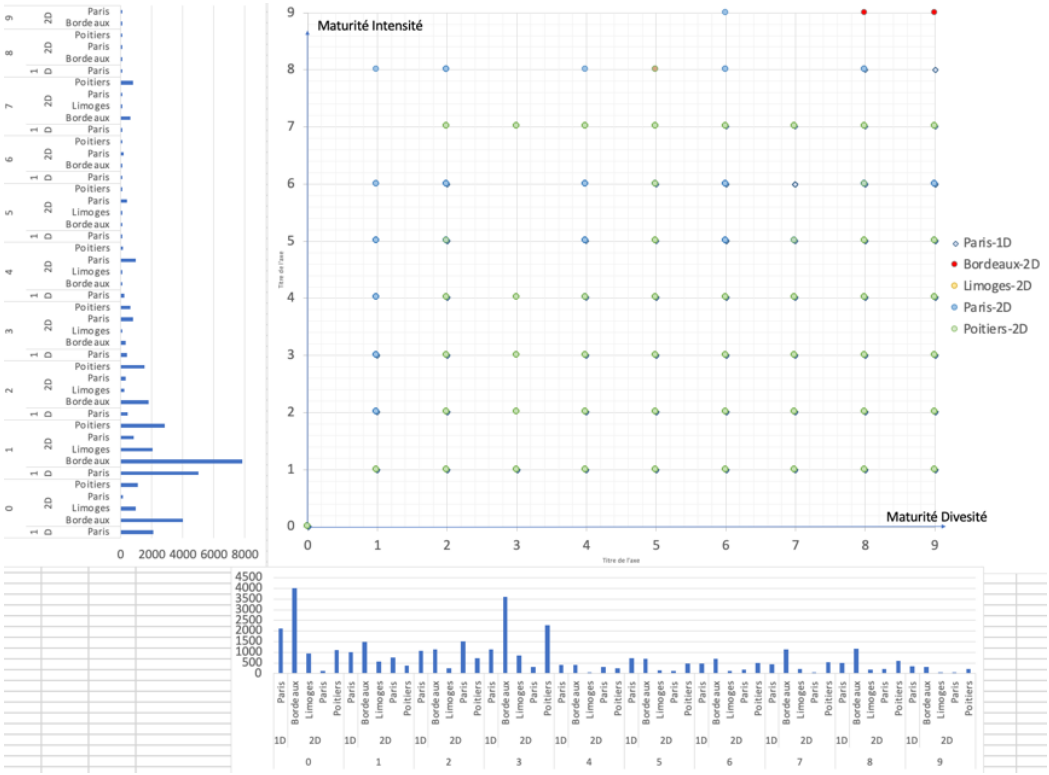


Figure 5 : Visualisation combinée des niveaux de maturité en intensité et diversité par nuage de points et nombre d'enseignants pour chaque segment

5.2 VISUALISATION SELON LA PERSPECTIVE DE L'ACP

L'ACP (Analyse en composante principale) est particulièrement utile pour l'analyse de corpus de données comme le nôtre. Elle permet en effet d'explorer la structure des données à grande échelle et de détecter les corrélations et redondances entre les variables, ce qui permet dans notre cas d'identifier les variables les plus informatives de notre corpus de données. Parallèlement, elle permet la visualisation de l'ensemble des observations (i.e. les enseignants) sous la forme d'un nuage de points, selon les deux dimensions les plus appropriées pour identifier les structures latentes (profils, comportements, tendances, etc.). Ce type de visualisation est particulièrement utile pour faire des analyses comparées de données à grande échelle. Plus précisément, nous avons réalisé des ACP sur les variables *DomaineDiv*, *DomaineInt* et *Maturité globale,* de manière à identifier d'une part les variables qui expliquent le mieux la maturité globale en fonction de la variété des comportements d'usage des enseignants, et d'autre part produire des visualisations de

synthèse de la maturité des enseignants permettant d'observer les tendances générales de maturité des enseignants et de faciliter les comparaisons entre les segments du corpus. Les variables ont été centrées réduites pour limiter les effets de différences d'échelle (en particulier entre les données d'intensité et de diversité). L'identification des axes factoriels étant directement réalisée à partir des composantes principales, ils sont orthogonaux par construction et aucune rotation n'a été effectuée.

5.2.1 Interprétation des axes factoriels

Le tableau de décomposition de la variance (voir Tableau 5) permet de voir que la moitié de l'information (51,39 %) est expliquée par les deux premiers axes factoriels (F1 et F2). Pour expliquer 70 % de l'information, seuil généralement considéré en SHS comme porteur de sens, il est nécessaire de considérer 4 axes (F1 à F4). Ce résultat montre qu'une tendance générale est interprétable avec une visualisation en 2 dimensions, mais que les résultats seraient plus complets en considérant une visualisation en 3 dimensions ou des visualisations complémentaires intégrant aussi F4. Néanmoins, plus le nombre de dimensions augmente, plus l'information portée par les axes ajoutés est faible. En effet, l'axe F1 explique 33,87 % de l'information, l'axe F2 en explique 17,52 %, F3, 11,66 % et F4, 9,28 %.

Le tableau des cosinus carrés et des contributions (voir Tableau 6) permet de voir les variables qui contribuent le plus à la constitution des axes factoriels. Les usages les plus représentés et qui expliquent 60 % de la maturité (cos2=0,594) sont identifiables sur F1. Avec des contributions entre 12 et 16 %, ils correspondent principalement à la *découverte* de certains services : les services de *connexion (*cos2*=0,547)*, de *création et sélection de ressources* (cos2=0,605), de *collaboration (*cos2*=0,533)* et de *communication avec la classe (*cos2*=0,447)*. On peut donc dire que la maturité numérique se caractérise principalement en fonction du nombre de services de l'ENT découverts par l'utilisateur. Les valeurs de corrélation positive présentées dans le tableau 7 permettent de voir que plus ils découvrent des services et plus ils montent en maturité. C'est la dynamique la plus commune des utilisateurs. La montée en maturité numérique se fait ensuite par l'intensification des usages des services découverts : la *connexion* et la *communication avec la classe (F1),* la *création et sélection de ressources* et la *collaboration* (F2). La montée en maturité numérique se poursuit ensuite par la découverte et l'intensification des usages de *gestion de la classe* (respectivement représentés par F3 et F4). Il est intéressant de noter que l'intensification des *connexions* et de la *communication avec la classe* jouent un rôle particulier. En effet, 40% de la variance de I-Connexion est expliqué par F1 (cos2=0,400), mais cet usage contribue aussi principalement à F3 (Contrib=24,344 %). L'analyse des corrélations (voir Tableau 7) permet de voir que I-Connexion est corrélée positivement avec F1 (0,602) et négativement avec F3 (-0,559). L'intensification des connexions joue donc un rôle positif dans la montée en maturité numérique du plus grand nombre d'enseignants (car porté sur F1), mais un rôle négatif dans la poursuite de la montée en maturité liée à l'intensité d'usage des autres services (corrélation négative sur F2 et F3). I-comm-classe joue un rôle équivalent, mais plus faiblement (cos2=0,225, Contrib=20,551, Corr=-0,514).

Sur la base de ces éléments, il est possible de considérer que la découverte des services est le premier moyen de montée en maturité numérique suivi par l'intensification des usages avec ces services. Les premiers services découverts et utilisés de manière intense sont la *connexion* et la *communication.* Les services qui permettent ensuite de monter en maturité numérique sont ceux de création *et sélection de ressources* et la *collaboration*, et enfin les derniers sont ceux de *gestion*. Cependant, la montée en maturité numérique ne se fait pas de manière aussi linéaire et on peut dire qu'il existe deux stratégies chez les enseignants. Ils

commencent par explorer les services et certains choisissent d'intensifier uniquement leurs usages de connexion et communication avec la classe et n'évoluent pas dans leur montée en maturité numérique (identifiable par la corrélation négative sur F3). À l'inverse, une autre partie de la population poursuit sa montée en maturité numérique par l'intensification des usages de création et sélection de ressources et de collaboration, puis des usages de gestion de la classe.

À titre d'information, et pour contrôler l'interprétation des visualisations présentées dans la section suivante, nous avons réalisé les mêmes ACP sur chaque segment (voir Tableau 8). Ces résultats permettent de voir que les valeurs de distribution de l'information sur F1 sont sensiblement les mêmes (entre 32 et 37 %) pour tous les segments du second degré, mais que cette valeur est plus élevée pour Paris1D (48 %) indiquant qu'il y a plus de variété dans les profils de maturité sur ce segment. Le fait que le modèle de maturité soit principalement représenté par les variables de découverte portées sur F1 est respecté pour tous les segments. De la même manière, les usages de gestion sont toujours les moins représentés. On observe des variations concernant l'importance des usages de communication avec la classe, création et sélection et collaboration, en particulier lorsqu'on compare les résultats des enseignants du 1er et second degré, ce qui nous laisse penser que ces différences sont probablement liées à des effets de contexte professionnel. Une étude complémentaire sera réalisée pour mieux comprendre ces variations, néanmoins, dans le cadre de cette étude, ces analyses seront utilisées pour vérifier si les visualisations présentées dans la section suivante sont assez précises pour identifier des différences selon les segments.

Tableau 5 : Décomposition de la variance : valeur propre et pourcentage d'information porté par chaque axe factoriel

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	3,72	1,92	1,28	1,02	0,89	0,71	0,55	0,33	0,29	0,22	0,04
Variabilité (%)	33,87	17,52	11,66	9,28	8,09	6,49	5,01	3,01	2,64	2,03	0,36
% cumulé	33,87	51,39	63,05	72,34	80,43	86,9	91,94	94,95	97,60	99,63	100

Tableau 6 : Cosinus carré et contribution (en %) des variables selon les axes factoriels

	Cosinus carré				Contribution (en %)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
I-Connexion	**0,400**	0,010	0,312	0,033	10,734	0,541	**24,344**	3,252
I-comm-classe	0,225	0,011	**0,264**	0,145	6,042	0,573	**20,551**	14,212
I-creation&selection	0,053	**0,925**	0,000	0,001	1,425	**47,977**	0,031	0,055
I-collaboration	0,024	**0,946**	0,002	0,003	0,632	**49,078**	0,155	0,292
I-gestion	0,043	0,001	0,182	**0,599**	1,145	0,070	14,189	**58,622**
D-Connexion	**0,547**	0,012	0,010	0,009	**14,685**	0,630	0,790	0,874
D-comm-classe	**0,447**	0,015	0,004	0,000	**12,009**	0,804	0,306	0,006
D-creation&selection	**0,605**	0,000	0,104	0,073	**16,250**	0,021	8,073	7,164
D-collaboration	**0,533**	0,001	0,092	0,093	**14,315**	0,061	7,187	9,057
D-gestion	0,254	0,005	**0,293**	0,053	6,812	0,236	**22,841**	5,184
Maturité globale	**0,594**	0,000	0,020	0,013	**15,952**	0,007	1,534	1,282

Tableau 7 : Corrélation entre les variables et les facteurs

	F1	F2	F3	F4
I-Connexion	**0,632**	-0,102	**-0,559**	0,182
I-comm-classe	0,474	-0,105	**-0,514**	0,381
I-creation&selection	0,230	**0,962**	-0,020	0,024
I-collaboration	0,153	**0,973**	-0,045	0,055
I-gestion	0,207	-0,037	0,427	**0,774**
D-Connexion	**0,740**	-0,110	-0,101	-0,094
D-comm-classe	**0,669**	-0,124	-0,063	0,008
D-creation&selection	**0,778**	-0,020	0,322	-0,270
D-collaboration	**0,730**	-0,034	0,304	-0,304
D-gestion	0,504	-0,067	**0,541**	0,230
Maturité globale	**0,771**	-0,012	-0,140	-0,114

Tableau 8 : Résultats de synthèse des ACP réalisées sur chaque segment

	Bordeaux2D				Limgoges2D				Poitiers2D				Paris2D				Paris1D			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
% cumulé	*34,29*	*51,26*	*65,33*	*76,66*	*37,12*	*51,19*	*62,03*	*72,08*	*32,39*	*47,99*	*59,38*	*69,21*	*34,45*	*52,58*	*64,71*	*74,68*	*48,25*	*58,71*	*68,58*	*77,48*
I-Connexion	0,30	0,00	0,01	0,12	0,35	0,00	0,04	**0,41**	0,31	0,00	0,04	0,09	**0,54**	0,01	0,17	0,00	**0,58**	0,26	0,01	0,03
I-comm-classe	**0,49**	0,27	0,09	0,12	**0,42**	0,36	0,01	0,09	0,32	**0,34**	0,13	0,03	**0,44**	0,01	0,07	0,00	0,35	**0,39**	0,01	0,06
I-creation&selection	0,13	**0,56**	0,18	0,04	0,29	0,13	0,01	0,03	0,19	**0,37**	0,22	0,01	0,01	**0,98**	0,00	0,00	**0,43**	0,06	0,22	0,01
I-collaboration	0,05	**0,54**	0,26	0,06	**0,29**	0,10	0,01	0,25	0,09	0,36	**0,36**	0,01	0,01	**0,98**	0,00	0,00	**0,31**	0,06	0,28	0,00
I-gestion	0,05	0,04	**0,41**	0,27	0,01	0,03	**0,68**	0,02	0,00	0,00	0,06	**0,60**	0,05	0,00	0,11	**0,58**	0,10	0,08	0,01	**0,71**
D-Connexion	**0,62**	0,06	0,01	0,00	**0,51**	0,10	0,00	0,04	**0,52**	0,11	0,00	0,00	**0,34**	0,00	0,25	0,04	**0,49**	0,01	0,29	0,01
D-comm-classe	**0,49**	0,27	0,09	0,12	0,34	**0,54**	0,02	0,01	**0,39**	0,35	0,11	0,02	**0,26**	0,00	0,20	0,03	**0,50**	0,01	0,25	0,01
D-creation&selection	**0,54**	0,04	0,05	0,10	**0,62**	0,09	0,00	0,04	**0,57**	0,09	0,08	0,01	**0,60**	0,00	0,17	0,08	**0,68**	0,10	0,01	0,00
D-collaboration	**0,41**	0,03	0,05	0,15	**0,50**	0,09	0,03	0,03	**0,45**	0,06	0,10	0,01	**0,52**	0,00	0,14	0,10	**0,61**	0,11	0,00	0,00
D-gestion	0,11	0,05	**0,41**	0,19	0,15	0,09	**0,37**	0,01	0,11	0,02	0,10	0,27	0,18	0,00	0,18	0,22	**0,44**	0,01	0,02	0,15
NA-mat-produit	**0,59**	0,02	0,00	0,08	**0,60**	0,01	0,02	0,19	**0,60**	0,01	0,04	0,02	**0,84**	0,00	0,03	0,02	**0,82**	0,05	0,00	0,00

5.2.2 Visualisation globale en deux dimensions

La figure 6 présente la visualisation du nuage de points représentant les enseignants en fonction de leur maturité numérique dans le repère de l'ACP et selon chaque segment (représenté par une couleur différente). La vue de gauche présente tous les enseignants alors que la figure de droite présente un zoom sur la zone centrale du nuage de point. Les représentations des variables actives ont été ajoutées à cette figure pour en faciliter la compréhension. La direction de l'axe indique comment la variable se projette dans l'espace factoriel, la longueur du segment reflète la qualité de représentation de la variable sur le plan F1.F2 (plus elle est longue, plus la variable est bien représentée, ce qui explique que les variables contribuant à F3 soient plus courtes, car en projection).

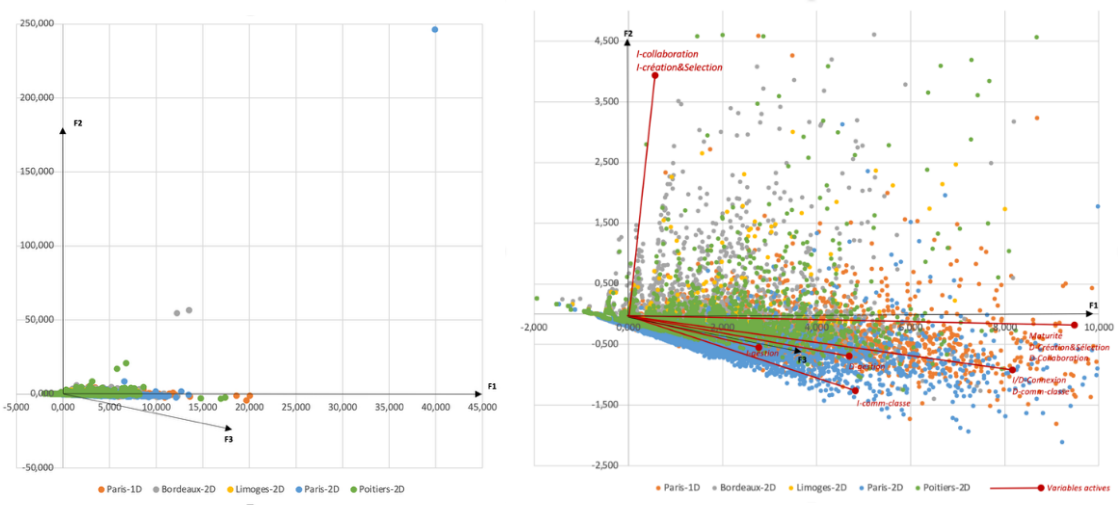


Figure 6 : Visualisation de la maturité des enseignants selon 5 contextes de travail, à gauche pour tous les enseignants et à droite avec un zoom sur la zone la plus dense

Cette visualisation est dense et concentrée sur des niveaux de maturité faibles. La forme du nuage de points est caractérisée par un cône ayant une base descendante entre les axes F1 et F3, puis qui s'allonge vers la droite et vers le haut. Quelques enseignants se détachent à droite et en haut, et ont des niveaux de maturité très élevés, mais ils sont peu nombreux. L'allongement selon l'axe F1 correspond à la découverte des services. La forme dense en cône descendant (plus visible sur la figure de droite) correspond au premier mouvement de montée en maturité lié à la découverte et l'intensification des usages de connexion et de communication avec la classe. Le second mouvement est représenté par l'éparpillement au bout du cône et correspond aux variables de découverte des services de création et sélection de ressources, et de collaboration, qui sont portées par F1. Le troisième mouvement de montée en maturité correspond aux points qui s'élèvent selon l'axe F2 et qui représentent l'intensification des usages de création et sélection, de collaboration. Le 4e mouvement correspond à la découverte et aux usages de gestion de la classe, mais il n'est pas visible du fait du faible nombre d'enseignants concernés.

5.2.3 Visualisation ciblée sur les niveaux de maturité les plus fréquents

La figure 7 décrit les zones selon les caractéristiques de maturité des enseignants. On observe 6 zones de base (0, A, B, C, D, E) progressant sur la droite et 4 zones d'amplification de la maturité (B+, C+, D+, E+) progressant vers le haut. Les zones de base correspondent aux nombres de services découverts par les enseignants (maturité en termes de diversité). Plus on va vers la droite, plus le nombre de services utilisés augmente (F1). Le socle de ces zones de base suit une pente descendante caractérisant l'intensité d'usage des services de connexion et de communication avec la classe (F1, F3). La maturité augmente ensuite en fonction de l'intensité d'usage des services de création de ressources et collaboration (F2) et gestion de la classe (F3). Les zones d'amplification sont liées à une intensification des usages de création de ressource ou de collaboration avec leurs pairs (axe F2). La Figure 8 présente les résultats de densité des zones. En effet, cette information n'est pas visible sur le graphique, car lorsque les comportements des enseignants sont équivalents, les points sont superposés.

La zone **0** correspond aux enseignants qui n'ont pas utilisé l'ENT et sont donc à un niveau de maturité 0. La zone **A** correspond aux enseignants de niveau de maturité faible (1) qui se

connectent, découvrent les services de communication avec la classe, mais ne les utilisent pas ou peu. Ces deux zones sont très denses avec respectivement 8722 et 10177 enseignants (voir figure 8). La zone **B** est elle aussi dense avec 8774 enseignants. Elle correspond à des enseignants qui ont choisi quelques services préférés et commencent à intensifier leurs usages. L'épaississement vers le haut correspond à l'intensification des services de connexion et de communication avec la classe (portés sur F3) qui apparaît en perspective. La zone **B+** ajoute à cette base 917 enseignants qui ont les usages les plus intenses sur ces deux services.

Les zones **C** et **C+** poursuivent cette dynamique, mais avec une densité qui diminue (5525 enseignants au total). Elles représentent des enseignants qui commencent à avoir un bon niveau de maturité. Ils utilisent plus de services et en particulier de plus en plus régulièrement les services de création de ressources ou de collaboration avec leurs pairs.

Les zones **D-D+** et **E-E+** sont encore moins denses (avec respectivement 1969 et 911 enseignants) et correspondent à des enseignants de niveau de maturité élevé et très élevé ; c'est-à-dire qui ont des usages fréquents et variés. La dispersion observable sur les zones E et E+ correspond à la découverte et aux usages des services de gestion de la classe (portée sur F3 et F4) et qui apparaissent en perspective.

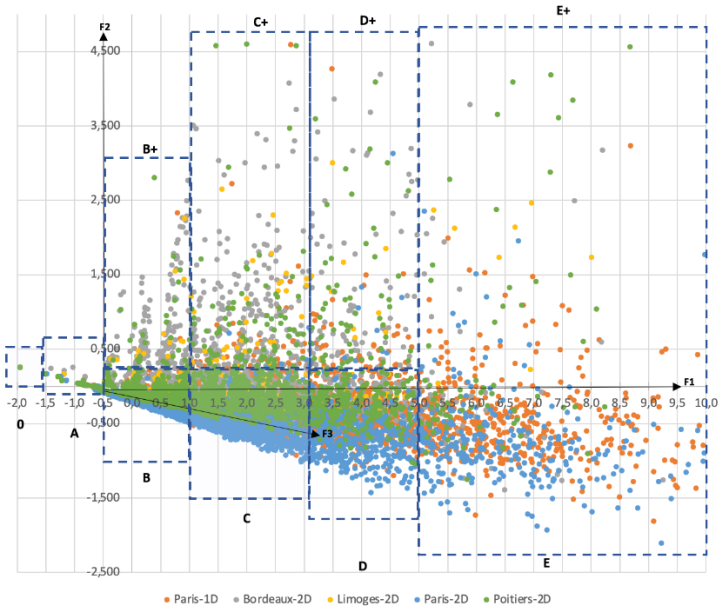


Figure 7 : Identification des groupes d'enseignants selon leurs niveaux de maturité

Groupes de maturité	Base	+	Total général
0	8722		8722
A	10177		10177
B	8774	917	9691
C	4650	875	5525
D	1629	340	1969
E	778	133	911

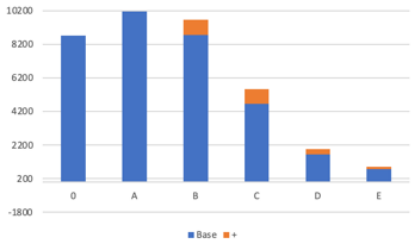


Figure 8 : Effectifs des groupes de maturité (valeur et graphique)

5.2.4 Comparaison des dynamiques de maturité en fonction des segments

En utilisant une fonction de filtre, il est possible :

- d'analyser spécifiquement un segment de contexte (voir Figure 9) ;
- ou de comparer les enseignants en fonction du contexte : les enseignants du 1er et 2d degré de l'Académie de Paris ou ceux du 2d degré selon les 4 académies du corpus (respectivement à gauche et à droite dans la Figure 10).

Les visualisations réalisées sur les 5 segments (voir Figure 9) montrent que si les dynamiques de maturité sont comparables, les effets de contexte sont visibles. Dans les 5 cas, le développement de la maturité s'appuie sur la droite descendante et un étirement vers la droite, caractéristique de la découverte des services et de l'intensité de leurs usages. L'épaisseur centrale du nuage est significative de l'intensité d'usage de communication avec la classe, et l'étirement vers le haut des usages de création de ressources et de collaboration.

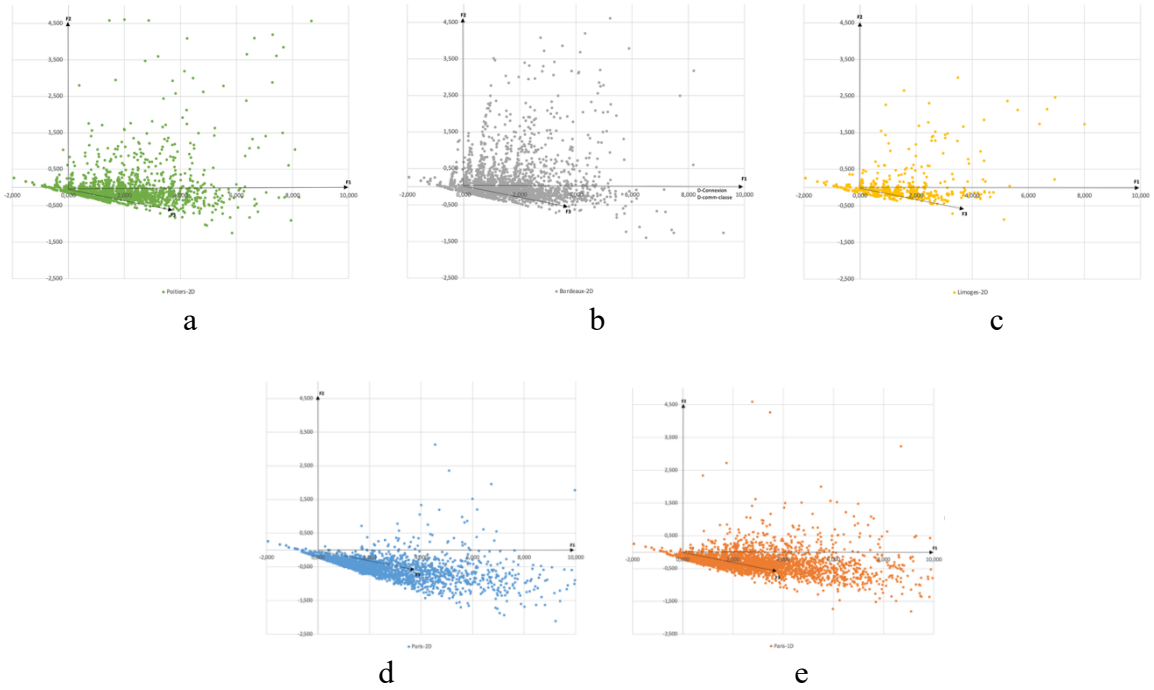


Figure 9 : Profils de maturité des enseignants du 2d degré des Académies de Poitiers (a), Bordeaux (b), Limoges (c) et Paris (d), et du 1er degré de l'Académie de Paris (e)

Dans l'Académie de Paris, chez les enseignants 2D, les niveaux de maturité sont plus faibles (le nuage de points est plus bas) que chez les enseignants 1D. On observe aussi des différences globales dans la répartition et les modes de réalisation de la maturité. Dans les trois académies de Nouvelle-Aquitaine, on observe les nuages de point qui montent vers le haut, significatifs d'usages intenses de communication, de création de ressources ou de collaboration avec leurs pairs et de communication. Cette caractéristique est particulièrement marquée à Bordeaux. En revanche, les enseignants de Paris ne réalisent pas ce type d'usage. Le nuage central (zone C) est particulièrement visible dans les Académies de Bordeaux et de Poitiers, ce qui montre une cohérence dans les usages des enseignants. Dans l'Académie de Paris, il n'est pas aussi dense. Les enseignants se répartissent en effet plus vers la droite du graphique, ce qui montre une diversité de maturité plus grande. Ces tendances générales et ces variations par segment sont cohérentes avec les résultats du

tableau 8, ce qui permet de conclure que les visualisations sont assez fines pour représenter chaque segment.

Les graphiques de comparaison sont particulièrement utiles pour faire une analyse comparée selon le contexte. Par exemple, dans l'Académie de Paris (voir Figure 10), les usages des enseignants du 1er degré sont globalement plus matures que ceux du 2d degré : ils utilisent plus de services et de manière plus fréquente que leurs homologues du 2d degré et il y a plus d'enseignants avec des niveaux de maturité élevés, en particulier concernant les services de création et sélection de ressources ou de collaboration entre pairs. De la même manière, lorsque l'on compare les enseignants du 2d degré selon les académies (voir Figure 10), on observe que les enseignants de l'Académie de Paris ont des usages plus diversifiés : ils utilisent plus de services de l'ENT que leurs homologues. En revanche en Nouvelle-Aquitaine, les enseignants des 3 académies ont des usages plus réguliers (visibles par une fréquence d'utilisation plus grande) et la part des enseignants mature est plus grande en particulier sur les usages de création et sélection de ressources ou de collaboration entre pairs.

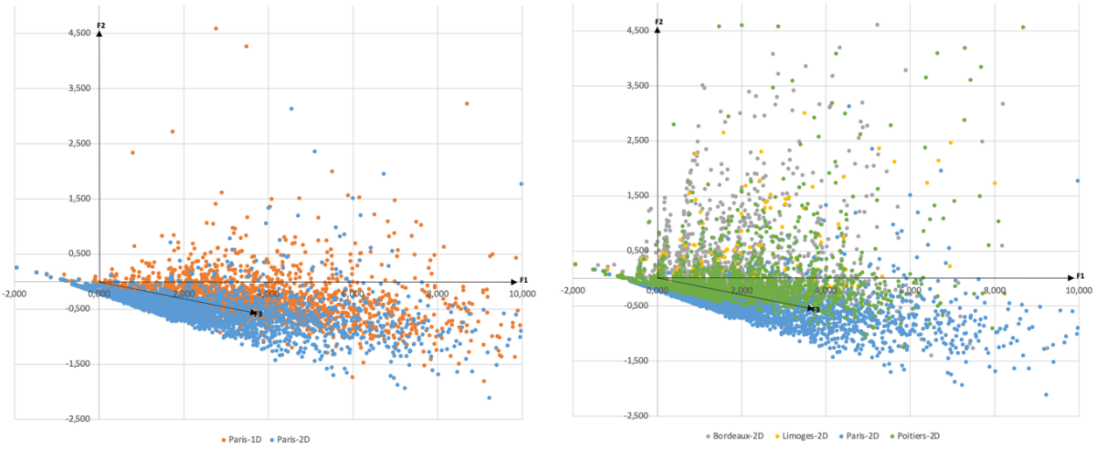


Figure 10 : Comparaison des profils de maturité des enseignants du 1er et 2d degré de l'Académie de Paris (gauche) et de ceux du 2d degré selon les 4 académies du corpus (droite)

5.2.5 Comparaison avec d'autres études d'usage

Les résultats obtenus font apparaître des tendances principales dans la montée en maturité numérique des enseignants. Ils entrent en résonance avec les travaux précédemment cités, et apportent un éclairage complémentaire sur la manière dont les usages se structurent et se différencient grâce à l'analyse des traces d'activité. Notre étude révèle que la montée en maturité est principalement caractérisée par une découverte graduelle des services (de communication, puis de création de ressources et de collaboration, puis de gestion de la classe), puis par une intensification des usages. Nous avons de plus observé trois grandes tendances dans l'appropriation des ENT : un large groupe d'enseignants n'utilisent pas ou peu l'ENT (8 722 et 10 177 enseignants), un groupe d'enseignants reste centré sur les usages communicationnels et les utilise ponctuellement (8 774 enseignants) ou de manière plus régulière (917 enseignants), un troisième groupe est composé des enseignants qui ont un bon niveau de maturité caractérisé par des usages intenses et variés intégrant les services de création de ressources et de collaboration entre pairs (1 969 enseignants) et de gestion (911 enseignants). Cette appropriation est caractérisée par des niveaux de maturité croissants.

Si on considère les types d'usage, nos résultats sont cohérents avec d'autres travaux de recherche. En effet, les enquêtes ministérielles PROFETIC et EPODE (MENJS, 2019 ; MENJ, 2023) font état d'une large majorité d'enseignants qui n'utilisent pas le numérique à des fins pédagogiques. Pour ceux qui l'utilisent, leurs usages principaux concernent la communication institutionnelle et l'accès à l'information. Nos observations, plaçant ces usages en facteurs premiers de montée en maturité numérique, confirment que ces services constituent la porte d'entrée sur l'ENT. Ce point rejoint l'analyse de Janvier et Schneewele (2024), qui observent le renforcement des dimensions organisationnelles et communicationnelles des activités d'apprentissage depuis les confinements liés au Covid-19. Cependant, pour les enseignants, ces pratiques, qui participent pourtant à des objectifs éducatifs, ne sont pas considérées comme pédagogiques, si on considère leurs déclarations dans l'enquête EPODE. Ces observations s'expliquent en partie par le faible niveau de compétences numériques des enseignants et les limites des formations qui leur sont proposées, principalement axées sur des aspects techniques, au détriment des dimensions pédagogiques (Fernández Batanero *et al.*, 2020). Le constat fait par Bruillard (2011) qui situait les ENT comme des innovations institutionnelles dont l'appropriation est limitée, car parfois trop éloignées du quotidien enseignant, reste donc encore d'actualité.

Les constats faisant mention des liens entre la variété d'usage et la maturité numérique (Duguet *et al.*, 2019 ; Johler *et al.*, 2022 ; Plantard, 2023) sont aussi observables dans notre cas. Ceci indique que la stratégie de modélisation de la maturité numérique est cohérente avec d'autres recherches. En termes d'usages effectifs, nos observations confirment, pour les enseignants les plus matures, des usages concomitants de communication, création et sélection de ressources, collaboration, complétés pour certains par des usages de gestion de la classe. Ce séquençage confirme les analyses de Loffreda (2021) et Catoire *et al.* (2025) sur le passage, pour les enseignants, d'écosystèmes simples à d'autres plus structurés et intégrés, associés à des usages plus développés. Sachant que l'enquête EPODE (MENJ, 2023) signale des enseignants très actifs, avec ou sans le numérique, dans la recherche de ressources et la collaboration entre pairs, l'ENT correspond donc à l'écosystème que ces enseignants ont choisi. Néanmoins, ce groupe étant encore peu nombreux, nous pouvons faire l'hypothèse que ces pratiques se réalisent ailleurs, directement de manière interpersonnelle ou avec d'autres environnements. Cette dissociation s'explique, notamment d'après Bruillard et Paindorge (2022), par le fait que certains enseignants choisissent d'adapter et d'organiser des ressources en utilisant leurs propres moyens plutôt que des espaces jugés institutionnels, comme l'ENT. Quant aux usages relatifs à la gestion de la classe qui apparaissent de manière restreinte, leur faible présence a déjà été repérée dans d'autres études (Backfisch *et al.*, 2021) comme relevant d'une appropriation plus engagée.

En termes de comparaison entre segments de la population, notre étude révèle des tendances d'usages globalement similaires d'un territoire à l'autre. Néanmoins, l'analyse plus fine des données indique des variations notables dans les dynamiques d'usage sur les ENT en fonction des territoires et niveaux d'enseignement étudiés. Une étude complémentaire, menée dans d'autres académies (Paris, Lille et Amiens) a statistiquement confirmé cette tendance plaçant l'académie et le niveau d'enseignant (1D/2D) comme facteurs principaux des différences dans les maturités d'usage (Michel *et al.*, 2024). Dans nos observations, l'intensité des usages semble moins dépendante des contextes locaux, tandis que la diversité des usages l'est, ce qui peut s'expliquer par les différentes stratégies locales de formation et les politiques de déploiement des ENT. Ce constat est particulièrement visible si on compare les enseignants des premier et second degrés (1D et 2D), et si on compare les enseignants 2D de l'académie de Paris à ceux des académies de Nouvelle-Aquitaine. Si les distinctions entre les usages des enseignants 1D/2D s'expliquent

par des habitudes de travail différentes (Duguet *et al.*, 2019 ; Plantard, 2023), nos observations diffèrent tout de même des constats de Plantard. En effet, dans notre cas, les enseignants du premier degré sont bien plus inventifs et actifs dans l'usage de l'ENT que ceux du second degré. Il est intéressant de noter que Plantard prend en compte une plus large variété de moyens numériques et observe que les enseignants du premier degré sont moins équipés que ceux du second degré. Ces choix politiques montrent que l'ENT, déployé dans l'ensemble des établissements, reste fondamental pour garantir à tous les enseignants de disposer de moyens de mise en œuvre du numérique. Les distinctions relatives au contexte d'exercice (régional ou académique) pour un même niveau (par exemple, les enseignants 2D des 4 académies dans notre étude) nécessitent des études plus poussées liées aux stratégies politiques. Ces stratégies sont multiples. Elles ont trait à la fois aux politiques locales de professionnalisation via la formation continue pour l'accompagnement des enseignants dans leur transition numérique, mais aussi aux équipements accessibles dans les établissements ou au mode de déploiement des solutions numériques. Par exemple, si les enseignants disposent du même support technique d'ENT, les régions choisissent de le paramétrer différemment. La prise en compte des caractéristiques locales des régions et académies permettrait notamment de mieux comprendre les différences mineures qui sont observées. Cette approche multidimensionnelle de la maturité numérique est alignée avec les principaux modèles de DMM (Abel *et al.*, 2022 ; Spiteri et Chang Rundgren, 2020 ; Thordsen et Bick, 2023).

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude présentée dans cet article explore la faisabilité et la pertinence d'une méthode de TA pour évaluer le niveau de maturité numérique des enseignants à l'échelle de deux territoires académiques, en utilisant les traces d'activité collectées via un environnement numérique de travail (ENT) et en les structurant selon un modèle de compétences (en réponse à la QR1). Les résultats obtenus, qui rendent visibles des niveaux de maturité à l'échelle de territoires académiques (en réponse à la QR2), ont démontré la validité de cette approche, tant du point de vue de sa fiabilité que de sa reproductibilité. Cette méthode confirme son potentiel pour l'analyse de gros corpus de données par segment ou globalement, mais aussi la finesse des mesures en résultant, qui, même à grande échelle, permettent de voir les différences liées aux contextes d'usage au niveau *méso*, et ainsi de réaliser des analyses socioculturelles. Le travail de structuration et de visualisation des données a rencontré plusieurs défis, notamment en termes de robustesse et de précision, permettant, une fois levés, de mieux comprendre les usages des enseignants que d'autres méthodes conventionnelles (Backfisch *et al.*, 2021 ; Fernández Batanero *et al.*, 2020).

Plus largement, plusieurs perspectives découlent de ces travaux. À court terme, notre objectif est d'affiner la compréhension des dynamiques d'usage et de montée en maturité des enseignants en interprétant les résultats présentés ici et en les mettant en perspective des autres études scientifiques réalisées. En effet, l'intérêt de nos méthodes, sur le plan scientifique, est de pouvoir dans un premier temps documenter, de manière globale et précise (selon la période, les territoires et les niveaux d'enseignement en particulier), les évolutions de maturité des enseignants. Plus globalement, ces résultats permettront de comprendre les dynamiques qui entrent en jeu dans la maturation des usages et compétences numériques des enseignants avec les ENT, en termes de découverte ou d'intensité d'usage des services proposés. Sur le plan stratégique et décisionnel, ces résultats seront intéressants à la fois pour les entreprises qui proposent des ENT et qui souhaitent affiner leurs choix de conception,

mais aussi pour les cadres éducatifs des académies qui souhaitent ajuster leurs politiques de formation continue et en mesurer les effets. Pour réaliser cet objectif, nous proposons d'étendre le corpus de données aux autres territoires équipés avec les solutions ENT One et Neo de manière à avoir une représentation nationale.

Les autres perspectives de nos travaux sont directement liées à l'une des limites inhérentes aux données provenant des traces d'activité : elles ne renseignent pas précisément sur le contexte d'utilisation. Nous envisageons de poursuivre notre démarche de structuration de traces en données porteuses de sens pour affiner la compréhension des effets contextuels ayant des effets sur l'acculturation des enseignants avec les technologies et pour l'évaluation de la maturité numérique.

Une première approche consiste à compléter les traitements opérés, en particulier les comparaisons entre segments. Par exemple, nous prévoyons d'analyser les différences inter-établissements de manière à objectiver les potentiels écarts au niveau *méso*, liés à la dynamique organisationnelle de l'établissement (Escudero *et al.,* 2018).

Une seconde approche consiste à intégrer au corpus de données des informations relatives aux académies ou aux établissements de manière à consolider la compréhension des effets macro ou méso dans les comparaisons. Ces données peuvent être issues d'autres bases de données (comme celles de la DEPP[6]), de données déclaratives ou d'observations de terrain. Par exemple, en exploitant d'autres bases de données, nous avons intégré dans notre corpus les dates de déploiement des ENT au sein de chaque établissement, et les caractéristiques sociales (REP/REP+) et géographiques (urbain/rural) des territoires pour mieux observer les effets des politiques publiques (Michel *et al.*, 2025). Par ailleurs, nous savons que dans l'Académie de Paris et dans celles de Nouvelle-Aquitaine, le projet ENT déployé n'est pas exactement le même (des choix de personnalisation sont en effet réalisés pour donner accès à des services complémentaires externes à l'ENT dans une zone académique, et à d'autres dans une autre zone). De la même manière, les stratégies de formation sont différentes. Nous projetons de mener des études de terrain pour coder ces spécificités dans le corpus et les intégrer aux analyses. Ces approches permettraient d'étudier plus finement les effets des politiques locales sur la maturation des usages numériques, pour l'envisager dans sa dimension organisationnelle. Enfin, une dernière approche consiste à affiner l'analyse au niveau micro en travaillant sur le processus de collecte et de caractérisation des traces d'activité, par exemple en identifiant automatiquement le moment de l'activité (dans ou hors classe) ou la granularité des actions (individuelles ou collectives).

Une dernière perspective de notre travail est d'élaborer des méthodes permettant à la fois une analyse en temps réel et un traitement sur les données incomplètes. Nous envisageons d'étudier les techniques d'inférence pour définir des règles de classification à partir des résultats des méthodes non supervisées appliquées aux corpus consolidés. Cela permettrait de calculer les niveaux de maturité de manière plus automatique et en utilisant des infrastructures plus sobres sur le plan énergétique, ce qui faciliterait la réalisation d'analyses stratégiques plus régulières ou sur des périodes clés. L'objectif final est de renforcer les capacités des chercheurs ou décideurs industriels ou politiques, dans l'analyse de l'efficacité des dispositifs de type ENT ou des moyens de formation continue déployés. Ces nouvelles contributions aspirent à mieux soutenir les enseignants dans leur montée en maturité numérique, tout en tenant compte des spécificités de chaque territoire académique.

[6]https://www.education.gouv.fr/direction-de-l-evaluation-de-la-prospective-et-de-la-performance-depp-12389

REFERENCES

Abel, V. R., Tondeur, J. et Sang, G. (2022). Teacher Perceptions about ICT Integration into Classroom Instruction. *Education Sciences*, *12*(9), 609. https://doi.org/10.3390/educsci12090609

Akram, H., Abdelrady, A. H., Al-Adwan, A. S. et Ramzan, M. (2022). Teachers' Perceptions of Technology Integration in Teaching-Learning Practices: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, *13*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.920317

Albó, L., Barria-Pineda, J., Brusilovsky, P. et Hernández-Leo, D. (2019). Concept-Level Design Analytics for Blended Courses. Dans M. Scheffel, J. Broisin, V. Pammer-Schindler, A. Ioannou et J. Schneider (dir.), *Transforming Learning with Meaningful Technologies* (vol. 11722, p. 541-554). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29736-7_40

Anicic, K. P., Begicevic Redep, N. et Kadoic, N. (2022). Towards LA Adoption Maturity Framework. *2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, 711-716. https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803750

Arianpoor, A. et Abdollahi, A. (2024). A new challenge in accounting education: convergence of maturity model, education and evaluation in accounting. *Accounting Research Journal*, *37*(2), 211-229. https://doi.org/10.1108/ARJ-09-2023-0240

Babkin, A. V., Shkarupeta, E. V., Gileva, T. A., Polozhentseva, J. S. et Chen, L. (2022). Methodology for assessing digital maturity gaps in industrial enterprises. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*, *13*(3), 443-458. https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.3.443-458

Backfisch, I., Lachner, A., Stürmer, K. et Scheiter, K. (2021). Variability of teachers' technology integration in the classroom: A matter of utility! *Computers & Education*, *166*, 104159. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104159

Bennacer, I. (2022). *Teaching analytics: support for the evaluation and assistance in the design of teaching through artificial intelligence* [thèse de doctorat, Le Mans]. https://www.theses.fr/2022LEMA1032

Besneville, É., Brillant, C., Caesar, M., Cerisier, J.-F., Devauchelle, B., Kechaï, H., Féroc-Dumez, I., Fortin, S., Lagrange, A., Lancella, F., Néa, B., Netto, S., Nguyen, A., Pottier, L., Pierrot, L., Raclin, S., Ramirez, S., Rançon, J., Remond, É., … Landa, M. (2019). *Le numérique éducatif à l'école élémentaire en tension entre politiques nationales, politiques locales et logiques d'appropriation par les enseignants*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02314186

Bharara, S., Sabitha, S. et Bansal, A. (2018). Application of learning analytics using clustering data mining for students' disposition analysis. *Education and Information Technologies*, *23*(2), 957-984. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9645-7

Carvalho, J., Pereira, R. H. et Rocha, Á. (2018). *Maturity models of education information systems and technologies: A systematic literature review*. Dans 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399339

Chambat, P. et Jouët, J. (1996). Rapport Introductif, Machines à communiquer : acquis et interrogation. Dans *Actes 10e Congrès National des Sciences de l'Information et de la Communication*, Grenoble-Echirolles, 207-214.

Collin, S. (2024). *Vers une infrastructure de gestion pédagogique? Le cas de la datafication de l'École québécoise* [communication orale], *RUNED 24*, Caen.

Cour des comptes. (2019). *Le service public numérique pour l'éducation : un concept sans stratégie, un déploiement inachevé* [synthèse du rapport public thématique de la cour des comptes]. Cour des comptes. https://www.ccomptes.fr/system/files/2019-07/20190708-synthese-service-public-numerique-education.pdf

Crompton, H. et Sykora, C. (2021). Developing instructional technology standards for educators: A design-based research study. *Computers and Education Open*, *2*, 100044. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100044

Duguet, A., Giret, J.-F. et Morlaix, S. (2019). Utilisation du numérique à l'école élémentaire : profils d'utilisation et analyse des compétences. *Carrefours de l'éducation*, *47*(1), 175-194. https://doi.org/10.3917/cdle.047.0175

Ertmer, P. et Ottenbreit-Leftwich, A. (2010). Teacher technology change: How knowledge, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, *42*, 255-284. https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551

Escudero, J.-M., Martínez-Domínguez, B. et Nieto, J.-M. (2018). Las TIC en la formación continua del profesorado en el contexto español. *Revista de Educación*, (382), 55-78. https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2018-382-392

Fernández Batanero, J. M., Montenegro Rueda, M., Fernández Cerero, J. et García Martínez, I. (2020). Digital competences for teacher professional development. Systematic review. *European Journal Of Teacher Education*, 45(4), 513-531. https://doi.org/10.1080/02619768.2020.1827389

Franklin, C. et Bolick, C. (2007). *Technology Integration: A Review of the Literature* (p. 1482-1488). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). https://www.learntechlib.org/primary/p/24773/

Freitas, E., Fonseca, F., Garcia, V., Falcão, T. P., Marques, E., Gašević, D. et Mello, R. F. (2024). MMALA: Developing and Evaluating a Maturity Model for Adopting Learning Analytics. *Journal of Learning Analytics*, *11*(1), 67-86. https://doi.org/10.18608/jla.2024.8099

Gril, A. (2023). *Capitalisation des indicateurs pour l'apprentissage humain : modèle et étude des interactions avec les utilisateurs* [thèse de doctorat, Le Mans Université]. https://theses.hal.science/tel-04352589

Harrison, C., Tomás, C. et Crook, C. (2014). An e-maturity analysis explains intention–behavior disjunctions in technology adoption in UK schools. *Computers in Human Behavior*, *34*, 345-351. https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.042

Icela, G.-P. L., Soledad, R.-M. M. et Antonio, E.-G. J. (2023). Education 4.0 Maturity Models for Society 5.0: Systematic literature review. *Cogent Business & Management*, *10*. https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2256095

Ifenthaler, D. et Yau, J. Y.-K. (2022). Analytics for Supporting Teaching Success in Higher Education: A Systematic Review. Dans *2022 IEEE Global Engineering Education*

Conference (EDUCON) (p. 1721-1727). https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766734

Jalal, G., Lachand, V., Tabard, A. et Michel, C. (2018). How teachers prepare for the unexpected: bright spots and breakdowns in enacting pedagogical plans in class. Dans *13th European Conference on Technology Enhanced Learning : vol. 11082* (p. 59-73). LNCS, Springer. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01833057

Johler, M., Krumsvik, R. J., Bugge, H. E. et Helgevold, N. (2022). Teachers' Perceptions of Their Role and Classroom Management Practices in a Technology Rich Primary School Classroom. *Frontiers in Education*, *7*. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.841385

Jouët, J. (1993). Pratiques de communication et figures de la médiation. *Réseaux*, *11*(60), 99-120. https://doi.org/10.3406/reso.1993.2369

Luo, X. (2020). *Supporting K-12 Teachers' Decision Making through Interactive Visualizations: A case study to improve the usability of a real-time analytic dashboard*. [mémoire de master, KTH Royal Institute of Technology]. https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-289216

McCoy, C. et Shih, P. (2016). Teachers as Producers of Data Analytics: A Case Study of a Teacher-Focused Educational Data Science Program. *Journal of Learning Analytics*, *3*(3), 193-214. https://doi.org/10.18608/jla.2016.33.10

MENJ. (2020). *Repères et références statistiques 2020*. MENJ. https://www.education.gouv.fr/reperes-et-references-statistiques-2020-1316

MENJ. (2023). *Premiers résultats de l'enquête sur les pratiques d'enseignement, EPODE, en 2018 au collège* (20.23; Note d'information DEPP). MENJ. https://www.education.gouv.fr/premiers-resultats-de-l-enquete-sur-les-pratiques-d-enseignement-epode-en-2018-au-college-305057

MENJS. (2019). *PROFETIC 2018 - Connaître les pratiques numériques des enseignants*. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. https://eduscol.education.fr/document/4303/download

Michel, C. et Pierrot, L. (2023). Pratiques des enseignants durant le confinement lié à la COVID-19 : niveaux et facteurs d'intégration du numérique dans les écoles et perspectives pour le développement des usages. *Revue STICEF*, *29*. http://sticef.org/num/vol2022/29.2.6.michel/29.2.6.michel.htm

Michel, C. et Pierrot, L. (2024). Vers la conception de moyens et méthodes fondés sur les modèles pour caractériser et diagnostiquer la maturité numérique des enseignants. *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, *31*(1).

Michel, C., Pierrot, L., Oru, F. et Vigneau, O. (2024). The Challenge of Modeling the Complexity of Use for the Measurement of Digital Maturity in Education. Dans R. Ferreira Mello, N. Rummel, I. Jivet, G. Pishtari et J. A. Ruipérez Valiente (dir.), *Technology Enhanced Learning for Inclusive and Equitable Quality Education* (p. 268-283). Springer Nature Switzerland.

Michel, C., Pierrot, L., Oru, F. et Vigneau, O. (2025). Differences in VLE Adoption: Longitudinal and Large-Scale Analysis of Contextual Effects on French Teachers' TEL Practices. Dans K. Tammets, S. Sosnovsky, R. Ferreira Mello, G. Pishtari et T.

Nazaretsky (dir.), *Two Decades of TEL. From Lessons Learnt to Challenges Ahead* (p. 321-336). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03870-8_22

Mougiakou, S., Vinatsella, D., Sampson, D., Papamitsiou, Z., Giannakos, M. et Ifenthaler, D. (2023). Teaching Analytics. Dans S. Mougiakou, D. Vinatsella, D. Sampson, Z. Papamitsiou, M. Giannakos et D. Ifenthaler (dir.), *Educational Data Analytics for Teachers and School Leaders* (p. 189-235). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15266-5_4

Murithi, J. et Yoo, J. E. (2021). Teachers' use of ICT in implementing the competency-based curriculum in Kenyan public primary schools. *Innovation and Education*, *3*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s42862-021-00012-0

Ndukwe, I. G. (2021). *Teaching analytics and teacher dashboards to visualise SET data: Implication to theory and practice* [thèse de doctorat, University of Otago]. https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/10659

OCDE. (2019). *Résultats de TALIS 2018 (Volume I)*. https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/5bb21b3a-fr

Pazmiño-Maji, R. A., García-Peñalvo, F. J. et Conde-González, M. A. (2017). Comparing Hierarchical Trees in Statistical Implicative Analysis & Hierarchical Cluster in Learning Analytics. Dans *Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (p. 1-7). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3144826.3145399

Plantard, P. (2023). Les Petites Poucettes dans la tourmente numérique : après la crise covid, les nouveaux temps et contretemps des usages éducatifs du numérique. *Administration & Éducation*, *179*(3), 83-92. https://doi.org/10.3917/admed.179.0083

Prieto, L. P., Sharma, K., Dillenbourg, P. et Jesús, M. (2016). Teaching analytics: towards automatic extraction of orchestration graphs using wearable sensors. Dans *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge - LAK '16* (p. 148-157). ACM Press. https://doi.org/10.1145/2883851.2883927

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu* [eur 28775 en]. https://doi.org/10.2760/178382

Romero, C. et Ventura, S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An updated survey. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, *10*(3), e1355. https://doi.org/10.1002/widm.1355

Saar, M., Rodríguez-Triana, M. et Prieto, L. (2022). Towards data-informed teaching practice: A model for integrating analytics with teacher inquiry. *Journal of Learning Analytics*, *9*, 1-16. https://doi.org/10.18608/jla.2022.7505

Śpiewak, J. et Kujawski, J. (2024). Digital maturity of universities. A research concept and an introductory study. *Procedia Computer Science*, *246*, 4251-4259. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.274

Spiteri, M. et Chang Rundgren, S.-N. (2020). Literature review on the factors affecting primary teachers' use of digital technology. *Technology, Knowledge and Learning*, *25*(1), 115-128. https://doi.org/10.1007/s10758-018-9376-x

Stewart, C. L. et Dewan, M. A. A. (2022). A Systemic Mapping Study of Business Intelligence Maturity Models for Higher Education Institutions. *Computers*, *11*(11), 153. https://doi.org/10.3390/computers11110153

Suehiro, D., Taniguchi, Y., Shimada, A. et Ogata, H. (2017). Face-to-face teaching analytics: extracting teaching activities from e-book logs via time-series analysis. Dans *ICALT*. https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.75

Thordsen, T. et Bick, M. (2023). A decade of digital maturity models: much ado about nothing? *Information Systems and e-Business Management*, *21*(4), 947-976. https://doi.org/10.1007/s10257-023-00656-w

Tocto-Cano, E., Collado, S. P., López-Gonzales, J. L. et Turpo-Chaparro, J. (2020). A Systematic Review of the Application of Maturity Models in Universities. *Inf.*, *11*. https://doi.org/10.3390/INFO11100466

Twilt, S. (2023). *A data analytics maturity assessment model for data-intensive organizations* [mémoire de master, Utrecht University]. https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/44027/Stan%20Twilt%206240399%20-%20Master%20Thesis.pdf?sequence=1

Underwood, J., Baguley, T., Banyard, P., Dillon, G. et Farrington-Flint, L. (2010). *Understanding the Impact of Technology: Learner and School level factors 2010* [rapport], BECTA.

Wiley, N. (1988). The micro-macro problem in social theory. *Sociological Theory*, *6*(2), 254-261. https://doi.org/10.2307/202119

Xu, B. et Recker, M. (2012). Teaching Analytics: A Clustering and Triangulation Study of Digital Library User Data. *Journal of Educational Technology & Society*, *15*(3), 103-115.