

Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et
de l'Enseignement Supérieur



DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION

Équipe MoVe



Campagne d'évaluation 2023-2024 — Vague D

Table des matières

1	INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE MOVE	3
1.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	3
	Vérification formelle : des fondements théoriques pour l'analyse de systèmes	3
	Vérification formelle : Applications et outils	4
	Ingénierie des modèles et Ingénierie des processus	5
	Modélisation de familles de systèmes : Gestion de la Variabilité logicielle	6
2	INTRODUCTION DU PORTFOLIO	7
3	AUTOÉVALUATION DU BILAN	8
3.1	Autoévaluation de l'équipe	8
	Domaine 2. Attractivité	8
	Domaine 3. Production scientifique	9
	Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société	11
4	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES	12
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE MOVE	13
A	ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022	16

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE MoVe

Nom de l'équipe : Modélisation et Vérification (MoVe)

Responsable de l'équipe

Tewfik Ziadi (depuis le 01/10/2020)

Béatrice Bérard et Tewfik Ziadi (jusqu'au 30/09/2020)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR	7	7	7	7	6	6
MCF HDR	5	5	6	6	6	6
MCF	10	10	9	9	9	9
DR	0	0	0	0	0	0
CR HDR	0	0	0	0	0	0
CR	0	0	0	0	0	0
Total permanents	22	22	22	22	21	21
Émérites	2	2	2	2	3	3
Doctorants	3	6	8	8	11	9
Ingénieurs CDD ou hors tutelles	1	0	0	0	0	0
Post-doc, ATER, etc.	0	2	2	0	1	0
Stagiaires	6	6	4	0	9	4
Total non permanents	10	14	14	8	21	13
Total avec émérites	34	38	38	32	45	37
Equivalent temps plein recherche	11.0	11.0	11.0	11.0	10.5	10.5

TABLE 1 – Personnels MoVe sur la période 2017-2022 (au 1er juillet de chaque année)

MoVe est la plus grosse équipe du LIP6. Cependant, il convient de signaler que, parmi nos permanents 5 sont personnels de l'Université Paris-Nanterre et 4 de l'IUT de Paris - Rives de Seine - Université Paris Cité. Cette caractéristique a un impact sur la vie de l'équipe car environ la moitié de nos membres sont localisés sur deux sites et ont souvent des responsabilités dans leur propre établissement.

1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe MoVe s'intéresse à la modélisation et la vérification de systèmes complexes répartis. La construction de tels systèmes nécessite des solutions pour maîtriser leur *complexité* et *diversité*. De plus, garantir leur *fiabilité* est une tâche cruciale puisque ces systèmes sont censés gérer des missions critiques. Pour maîtriser la complexité et la diversité de systèmes complexes, l'équipe MoVe s'appuie conjointement sur les fondements de *l'ingénierie de modèles* et *l'ingénierie de lignes de produits logiciels*. L'objectif est de modéliser ces systèmes selon différents aspects, allant de leur processus de développement jusqu'à la génération de code et la gestion de la variabilité. Quant aux aspects fiabilités et sûretés, ces derniers sont assurés en s'appuyant sur des fondements théoriques pour leur analyse. Ceci concerne particulièrement l'utilisation des techniques de *vérification* (comme le *Model Checking*), la *synthèse de contrôleur* et les *problèmes de satisfaisabilité booléenne*. L'équipe trouve une cohérence thématique dans la maîtrise des différentes dimensions de construction de systèmes complexes allant de la modélisation jusqu'à la vérification pour assurer leur fiabilité.

Vérification formelle : des fondements théoriques pour l'analyse de systèmes

Une partie de nos travaux des cinq dernières années a porté sur le développement de nouveaux modèles, et l'exploration de nouveaux problèmes de vérification capables de capturer des systèmes infinis, soit parce qu'ils modélisent l'écoulement quantitatif du temps, soit parce qu'ils représentent des systèmes distribués faisant inter-agir un nombre non borné d'agents.

Modèles temporisés et concurrents. L'équipe a participé à la proposition d'un modèle temporisé qui a été étendu aux contraintes polynomiales ([Bérard et al., 2021b]). Dans un article plus récent ([Bérard and Haddad, 2022]), nous avons proposé une optimisation de la complexité pour le problème d'accessibilité dans ce modèle. Nous avons également obtenu des résultats originaux de décidabilité pour des systèmes dynamiques avec des trajectoires très générales ([Bérard et al., 2018a]).

Systèmes paramétrés. Les travaux de l'équipe concernent également le problème de synthèse, qui consiste à dériver automatiquement un système sous la forme d'un modèle formel à partir de sa spécification donnée par une formule logique. Nous avons travaillé sur la synthèse de systèmes distribués paramétrés, c'est-à-dire qui se

comportent correctement quel que soit le nombre de processus qui le composent. Le problème étant indécidable en général, nous avons obtenu des résultats de décidabilité pour de nouveaux cas de systèmes paramétrés, que le système soit dynamique avec de nouveaux processus pouvant apparaître au cours de l'exécution ([Bollig et al., 2018]) ou non ([Sznajder et al., 2020]). Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de M. Lehaut. Enfin, notre collaboration avec l'équipe NPA se poursuit sur la vérification formelle d'algorithmes distribués pour des réseaux de robots collaboratifs (algorithmes auto-stabilisants). Nous avons proposé un modèle permettant de vérifier les premières propriétés de façon paramétrée sur ces algorithmes souvent difficiles à prouver manuellement ([Sangnier et al., 2017a, Sangnier et al., 2020]).

Sécurité. Les problèmes de sécurité ont été abordés sous l'angle des fuites d'information. Nous avons obtenu des résultats de décidabilité sur des modèles à base d'ordres partiels, souvent utilisés dans le contexte de systèmes répartis ([Bérard et al., 2017d, Bérard et al., 2018b]). Nos travaux ont également concerné l'étude spécifique de l'opacité, une propriété des systèmes qui consiste à empêcher ou à minimiser ces fuites d'informations. Dans le cadre qualitatif et pour des réseaux de Petri, nous avons mené une étude des différentes complexités pour la vérification de cette propriété ([Bérard et al., 2018c]). Nous avons obtenu des résultats pour des modèles probabilistes, qui permettent de mesurer cette opacité, c'est-à-dire la proportion de secret qui fuit d'un système ([Bérard et al., 2018d]). Nous avons étendu cette étude à des modèles plus complexes où les exécutions sont guidées par des stratégies, avec des objectifs de minimisation et de maximisation ([Bérard et al., 2017c]).

Contrôle et synthèse. Une thèse en collaboration avec IRT SystemX et le LSV (soutenue en novembre 2018) s'attaque à la vérification statistique de contrôleurs industriels pour véhicules autonomes, dont la conception est souvent réalisée avec l'outil Simulink. Pour cela, le doctorant a produit une sémantique formelle pour Simulink qu'il a ensuite implémentée dans le model-checker statistique Cosmos ([Barbot et al., 2018a]). D'un point de vue plus théorique, nous avons démarré une collaboration avec des membres du LMF sur la synthèse de systèmes distribués avec réseaux de communication dynamiques ([Bérard et al., 2020]).

Vérification formelle : Applications et outils

L'équipe MoVe s'appuie sur les fondements théoriques présentés ci-dessus pour la vérification formelle de systèmes. Un élément important de nos travaux en vérification formelle est notre investissement dans le développement de logiciels concrets permettant l'analyse et la vérification de systèmes concurrents complexes.

Solveurs SAT. Le problème de satisfaisabilité d'une formule booléenne (SAT) est un problème NP-complet très expressif mais pour lequel des stratégies permettant de résoudre de très grandes instances existent. Au cours des cinq dernières années nous avons investi en collaboration avec LRDE et l'équipe DELYS dans la plateforme générique et configurable PalnLeSS. Ce travail a été l'occasion d'impliquer 5 doctorants

En-dehors de la plateforme elle-même, nos contributions touchent les stratégies permettant de faire collaborer des solveurs dans une architecture multi-core et/ou distribuée, ainsi que l'exploitation des symétries pour réduire la complexité, ou l'étude fine des contraintes introduites afin d'optimiser les solutions. La plateforme PalnLeSS a montré ses qualités en remportant des récompenses dans la compétition internationale officielle autour des solveurs SAT.

Model-Checking Contest¹. Le développement d'outils efficaces et corrects, qui se comportent bien sur des benchmarks divers est une tâche difficile. La reproduction des expériences rapportées dans les articles comparant ou mesurant des outils est aussi un problème majeur. Notre équipe est fortement impliquée dans l'organisation de la compétition annuelle de model-checking (MCC) depuis 2011.

Outils pour le model-checking. Notre équipe a construit et continue de développer le model-checker ITS-tools, un outil permettant l'analyse du comportement (logique temporelle) de systèmes divers en appui sur un langage intermédiaire, et muni de procédures de décisions puissantes et efficaces. Au cours des cinq dernières années nous avons investi dans les développements de procédures de décision qui mêlent explorations pseudo-aléatoires, réductions structurelles évitant d'explorer des pans entiers du comportement, et des sur-approximations du système basées sur l'intégration de solveurs de contraintes généraux (comme Z3 pour le SMT). Grâce à ces progrès algorithmiques et aux efforts d'implantation, l'outil a pris depuis 2020 la tête de la compétition au MCC, et y obtient de nombreuses médailles d'or.

Outils pour l'analyse de BPMN. Notre équipe développe l'outil fBPMN, qui permet l'analyse de spécifications BPMN à l'aide d'une transformation vers une logique de premier ordre ensuite soumise à TLA+ (portfolio 6).

1. <https://mcc.lip6.fr>

Application pour les systèmes cyber-physiques.. L'équipe s'intéresse à l'utilisation des techniques d'analyse formelle pour la simulation de systèmes cyber-physiques. Ces systèmes se caractérisent non seulement par le grand nombre d'entités qui les composent, mais aussi par la présence en leur sein d'éléments embarqués temps réel en interface avec le monde physique (capteurs, actionneurs). L'équipe développe un prototype appelée BCM4Java (modèles à composants répartis) et son extension aux systèmes de contrôle cyber-physiques (BCM4Java-Cyphy) intégrant une bibliothèque de simulation en Java dédiée [Malenfant, 2018].

Une autre application pour les systèmes cyber-physiques concerne le système de guidage adaptatif et contextuel d'un agent ambiant dédié à la conduite efficace de véhicules autonomes [Chaouche et al., 2020, Ilié et al., 2022]. Cet agent embarqué de nom E-HoA (Embedded - Higher order Agent) raisonne suivant des principes symboliques d'intentionnalité dont l'expressivité est riche et intuitive. Des propriétés de consistance symbolique intentionnelle des exécutions spatio-temporelles et la capacité d'adaptation du modèle d'exécution à la volée sont démontrées. Son architecture logicielle est issue de coopérations transverses au LIP6 - MoVe et CIAN avec des chercheurs de l'Université de Constantine 2 en Algérie. En particulier, des mécanismes conjugués de caches de données et d'apprentissage permettent à l'agent de raisonner et de (ré-)agir, contextuellement et efficacement, en fonction des expériences de conduite sur le terrain.

Ingénierie des modèles et Ingénierie des processus

L'utilisation de modèles est au cœur de l'ingénierie logicielle et de l'ingénierie des processus. Les modèles supportent la conception, l'analyse et l'exécution des systèmes et applications informatiques. Ces modèles peuvent être définis de façon spécifique à un domaine ou un besoin ou avoir un cadre d'application plus général. Dans le premier cas, on se place dans ce qui concerne les modèles spécifiques au domaine (avec la définition et l'utilisation des DSL et DSML). Dans le second cas on se place souvent dans le cadre de normes et de standards internationaux tels que CMMI, UML ou BPMN.

Analyse de processus métiers.. L'équipe MoVe développe depuis plusieurs années des travaux portant sur la définition de techniques d'analyse de processus métiers définis à l'aide du standard BPMN [1]. Nous avons défini une sémantique formelle à un sous-ensemble de BPMN [Houhou et al., 2019].

Par rapport à l'existant, cette sémantique présente plusieurs avantages. Il s'agit d'une sémantique directe en logique du premier ordre (FOL), ce qui permet de cibler plusieurs cadres et outils de vérification (des expériences ont été faites avec TLA⁺, Alloy et leurs outils d'analyse), contrairement aux sémantiques de la littérature qui procèdent par traduction dans un cadre spécifique (typiquement, les réseaux de Petri). Notre sémantique prend en compte des éléments du standard BPMN dont la sémantique est reconnue complexe, car non locale (porte inclusive, interruption des sous-processus).

Enfin l'analyse des modèles de processus métiers peut se faire suivant différents modèles de la communication inter-processus (certaines propriétés peuvent être vérifiées pour un modèle de communication mais pas pour un autre). L'ensemble de ces travaux, liés à l'analyse des processus métiers BPMN, est implanté dans l'outil open-source fBPMN. Ces travaux ont ensuite servi de base à différentes extensions pour la prise en compte des aspects temporels du standard BPMN [Houhou et al., 2022, Houhou et al., 2021] ainsi que l'intégration au sein de modèles BPMN de contraintes et d'actions liées au contexte d'exécution des processus métier [Saddem-Yagoubi et al., 2021]. Au delà de l'analyse d'une version donnée d'un processus ou d'une collaboration inter-processus, nous avons aussi proposé des techniques outillées pour l'analyse de propriétés dans le cadre de l'évolution de processus métier [Krishna et al., 2019].

Recommandation de relecteurs dans les processus de développement de logiciels libres.. Dans le contexte des processus et des équipes de développement agiles, l'un des défis bien identifié consiste à trouver une allocation optimale des ressources [3, 4]. Une ressource désigne dans ce contexte des développeurs, testeurs, relecteurs de code, administrateurs ou managers. Dans une première étape nous nous sommes intéressés au moyen d'identifier et d'augmenter le nombre de relecteurs dans les projets de logiciels libres. Ce manque a déjà été reporté par plusieurs communautés [6]. Nous l'avons également confirmé en menant une étude sur l'historique de développement de 5 projets de logiciels libres i.e. , Kafka, Beam, Flink, Spark and Zookeeper, ce qui représentait plus de 58000 pull-request, 80000 commits et plus de 106000 fichiers. L'étude démontre clairement un manque flagrant de relecteurs et le fait que ce sont toujours les mêmes personnes qui effectuent les relectures. Dans le contexte de gros projets de logiciels libres, cela peut être très bloquant.

Pour pallier ce problème, nous avons conçu un système de recommandations basé sur la stratégie de filtrage collaboratif (CF) [5], et plus précisément, sur la factorisation de matrice. Pour une modification de code donnée, le système recherche d'abord les relecteurs pertinents sur la base de l'historique des révisions. Notre approche identifie ensuite comme nouveaux relecteurs possibles les développeurs dont l'historique de développement est

similaire à celui des relecteurs trouvés. La principale avancée de notre système par rapport aux travaux existants est sa capacité à recommander à la fois des relecteurs réguliers et de nouveaux relecteurs potentiels sur la base de leur historique de révisions et de livraisons.

Pour évaluer notre approche, nous avons utilisé deux ensembles de données dont la fréquence des changements de code, le nombre de commits, de fichiers et de contributeurs diffèrent. Le premier ensemble de données se compose de cinq projets hébergés sur GitHub : Beam, Flink, Kafka, Spark et Zookeeper. Le deuxième ensemble de données est composé de quatre communautés de logiciels qui hébergent leurs révisions sur Gerrit : Android, Openstack, QT et Libreoffice. Android est la plus grande des communautés sélectionnées avec plus de 3 000 000 de commits à travers les 112 sous-projets. Dans tous les cas, notre système de recommandation fonctionne avec succès, identifiant les relecteurs pertinents parmi l'ensemble des relecteurs réels et les relecteurs potentiels parmi les développeurs [Chueshev et al., 2020]. Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec Julia Lawall, Directrice de Recherche au sein de l'équipe INRIA Whisper.

Modélisation de familles de systèmes : Gestion de la Variabilité logicielle

MoVe s'intéresse à la modélisation et à la construction de familles de systèmes en utilisant les fondements de l'ingénierie de lignes de produits logiciels [2]. Une ligne de produits logiciels est définie comme une famille de systèmes appartenant au même domaine et qui sont caractérisés par des éléments communs mais aussi par des points de variation. La gestion de cette variabilité est le principal défi scientifique pour la construction de lignes de produits. Plusieurs contributions ont été proposées par l'équipe pour l'inférence de la variabilité et l'optimisation de l'espace de configuration.

Inférence de la variabilité logicielle.. MoVe développe des méthodes pour l'inférence de la variabilité logicielle à partir d'artefacts logiciels similaires existants. Les contributions de l'équipe dans ce contexte sont intégrées dans le logiciel libre BUT4Reuse² qui a été développé comme un cadre générique et extensible pour supporter plusieurs types d'artefacts logiciels (le code source, les modèles, etc.).

Durant les 5 dernières années, nous avons étendu BUT4Reuse avec de nouvelles méthodes pour l'identification de services réutilisables à partir de code source de familles de systèmes [Shatnawi et al., 2020]. Nous avons aussi intégré à BUT4Reuse de nouveaux adaptateurs pour l'inférence de la variabilité dans les applications mobiles. Cela a abouti à une étude empirique sur 70 familles d'applications [Shatnawi et al., 2019]. Une nouvelle extension à BUT4Reuse a été proposée pour l'inférence de la variabilité à partir de familles d'architectures logicielles [Kerdoudi et al., 2019b, Kerdoudi et al., 2022]. Dans le cadre d'une collaboration avec des collègues de l'Université de San Jorge en Espagne, nous avons proposé une méthode pour inférer la variabilité à partir de modèles. La méthode s'appuie sur des concepts de l'ingénierie dirigée par les modèles et les algorithmes génétiques. La méthode a été publiée dans la revue IEEE TSE [Pérez et al., 2022]. Pour permettre l'évaluation systématique des techniques d'inférence de la variabilité, nous avons proposé deux benchmarks. Le premier, EFLBench, repose sur les distributions d'Eclipse [Martinez et al., 2018d] et le second, ArgoUML-SPL, s'appuie sur l'outil libre ArgoUML [Martinez et al., 2018a]. Les deux benchmarks sont diffusés à la communauté scientifique du domaine. Le benchmark ArgoUML-SPL est utilisé depuis plusieurs années comme challenge dans le contexte de la conférence SPLC³.

Analyse et optimisation de modèles de variabilité.. Dans le cadre d'une thèse CIFRE avec Renault, nous nous sommes intéressés à l'analyse de l'espace de configurations du modèle de variabilité des véhicules de Renault. Nous avons proposé d'exploiter les symétries, qui représentent des parties isomorphes dans l'espace de configurations, pour optimiser le système de gestion de variabilité de Renault. Les premiers résultats ont été publiés dans la conférence SPLC 2020. [Xu et al., 2021].

2. <https://but4reuse.github.io/>

3. <https://variability-challenges.github.io/index.html>

2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Nous avons choisi à travers les éléments de portfolio des éléments permettant de montrer la diversité des thèmes de recherche de l'équipe.

Chaque élément disposant d'une fiche explicative détaillée, nous listons simplement ici ces éléments :

1. **Élément 1 (publication)** : article intitulé "Approaches to Co-Evolution of Metamodels and Models : A Survey", par Regina Hebig ; Djamel Eddine Khelladi ; Reda Bendraou. Publication dans la revue IEEE Trans Software Eng 2017.
2. **Élément 2 (Jeu de données consolidées)** : Le Model Checking Contest.
3. **Élément 3 (logiciel ou bibliothèque logicielle)** : Outil de verification formelle ITS-Tools.
4. **Élément 4 (publication)** : article intitulé "A novel approach for Software Architecture Product Line Engineering", par Mohamed Lamine Kerdoudi , Tewfik Ziadi, Chouki Tibermacine, Salah Sadou. Publication dans la revue Journal of Systems and Software, vol. 186, pp. 111191, (Elsevier).
5. **Élément 5 (publication)** : article intitulé "Parameterized Synthesis for Fragments of First-Order Logic over DataWords", par Béatrice Bérard, Benedikt Bollig, Mathieu Lehaut, Nathalie Sznajder. Publication dans les actes de FOSSACS 20.
6. **Élément 6 (publication)** : article intitulé "A First-Order Logic Semantics for Communication-Parametric BPMN Collaborations", par Sara Houhou, Souheib Baarir, Pascal Poizat, Philippe Quéinnec. Publication à la 17ème International Conference on Business Process Management (BPM 2019).
7. **Élément 7 (logiciel ou bibliothèque logicielle)** : bibliothèque de développement automatique de SAT solveurs parallèles Painless.

3 AUTOÉVALUATION DU BILAN

3.1 Autoévaluation de l'équipe

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

Organisation de conférences internationale. L'équipe a organisé la 23e édition de la conférence ACM SPLC 2019 (Systems and Software Product Line Conference) avec plus de 150 participants. Il s'agit de la conférence principale dans le domaine de l'ingénierie de lignes de produits logiciels. Un membre de l'équipe était co-general chair de cette édition. Un autre membre était co-general chair des conférences ICSSP 2021 (International Conference on Software and System Processes) et ACM/IEEE ICGSE 2021 (International Conference on Global Software Engineering). L'équipe a organisé aussi deux éditions de la conférence Petri Nets (2020, 2021). Un membre de l'équipe était le co-general chair de ces deux éditions. En 2018, l'équipe a également organisé la journée nationale du GT IDM du GDR GPL.

Participation à des comités de programme de conférences internationales. Les membres de l'équipe sont invités régulièrement au comité de programme de conférences internationales de référence dans le domaine de la vérification formelle de systèmes (ex. ; Petri Nets, FORMATS), de l'ingénierie de logiciels et des processus (ex. ; ASE, ICSSP, ACM SAC-SE, BPM ICSOC, et ICECCS), de l'ingénierie des lignes de produits logiciels (ex. ; SPLC, ICSR). Ils participent aussi comme éditeurs associés dans des revues internationales comme Science of Computer Programming.

Participation à des comités de pilotage de conférences internationales. Les membres de l'équipe MoVe sont membres de 5 comités de pilotage de conférences internationales : SPLC, ICSSP, ETAPS, Petri Nets, et ICAS.

Prix et invitations. Plusieurs contributions de l'équipe ont été primées par des prix. Les outils ITS-Tools et PalnLeSS sont régulièrement récompensés dans les compétitions autour respectivement de la vérification (le Model Checking Contest) et des solveurs SAT (International SAT Competition).

ITS-Tools a gagné au total plusieurs médailles depuis 2017 dont 8 médailles d'or dans les différentes catégories de model checking (Accessibilité, limites supérieures, et propriétés globales, etc.). Les solveurs SAT mis en œuvre à l'aide de PalnLeSS ont obtenu d'excellents résultats lors des récentes compétitions SAT dont la première place dans le parallel track en 2018, 2021 et 2022. L'article concernant la vérification de modèles de processus a eu le prix du meilleur article de la conférence BPM 2020. L'article proposant l'exécution des modèles de processus [Bendraou et al., 2007a] a été sélectionné en 2017 comme l'article le plus influent depuis 10 ans dans la conférence internationale APSEC. Les membres de l'équipe sont régulièrement invités à des exposés et à des tutoriels associés à des conférences et workshops dont ICECCS 2019, TOOLS 2019, ICSR 2020, et MOROVER 2017.

Logiciels. L'équipe a une visibilité concernant la diffusion de logiciels libres. Ce volet est détaillé à la référence 4.

Coopérations internationales. Les membres de l'équipe collaborent avec des collègues à l'international : en Espagne, en Allemagne, en Suède, au Canada, et en Algérie. Ces collaborations se traduisent par des invitations et des visites. L'équipe a pu bénéficier, par exemple, à deux reprises de la visite en tant que professeur invité de Vijay Ganesh de l'université de Waterloo. Francisca Pérez, professeure à l'université San Jorge, a passé un séjour de deux mois au sein de l'équipe en 2019.

Responsabilités niveau recherche. L'équipe participe au pilotage national et local de la recherche. Un membre de l'équipe est président du jury du prix de thèse du GDR GPL (depuis 2021). Un autre membre était co-animateur de l'action transversale ALROB des GRD GPL et Robotique (jusqu'à 2019). Un membre de l'équipe est directeur du LIP6 (depuis 2019). Une autre membre est co-animatrice de l'axe "Théorie et outils mathématiques pour l'informatique" du LIP6. Des membres de l'équipe participent à la commission de soutien à la publication du LIP6 (depuis 2014). Au niveau international, un membre de l'équipe est secrétaire général de l'association ISSPA (International Software and Systems Process Association) qui s'intéresse particulièrement aux processus en tant que domaine de recherche, de développement, d'application et d'amélioration.

Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

Pour les doctorants en thèse CIFRE, l'équipe recommande une journée spécifique de présence par semaine afin de préserver un moment permettant les échanges au sein de l'équipe. Les séminaires d'équipes sont souvent organisés le jour de présence des doctorants CIFRE.

L'équipe a radicalement changé la gestion de son budget en la confiant à une commission interne. L'objectif était de créer une gestion collégiale et d'impliquer plus les collègues avec un esprit bienveillant. L'équipe MoVe continue d'accueillir ses anciens membres permanents comme émérites en leur fournissant toutes les ressources nécessaires (bureaux, équipement, .etc.).

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

Participation aux projets compétitifs. L'équipe a participé au montage d'un grand projet européen ITEA3 RE-VaMP2 (2017-2020). Le projet a regroupé 29 partenaires dans 5 pays. Le projet s'intéresse aux problématiques d'extraction de lignes de produits à partir d'artefacts logiciels existants. En plus du montage, l'équipe a eu un rôle majeur comme coordinateur scientifique. Dans le cadre d'appel ANR, l'équipe MoVe participe aux deux projets : 1) PARDI (2016-2021) portant sur la vérification de systèmes distribués paramétrés ; 2) SAPPORO (2020-2024) dont l'objectif est d'établir un cadre formel pour la vérification de protocoles distribués pour les réseaux de robots mobiles, qui coopèrent pour exécuter des tâches complexes. Les budgets de ces projets sont essentiellement consacrés au recrutement de doctorants et de pos-doctorants de l'équipe avec une partie utilisée pour le financement de missions. Le projet REVaMP2 a financé 3 post-doctorants et PARDI a financé une thèse.

Financement industriels. Les thèses CIFRE avec Renault, RedFabriQ et SAP France sont une autre source importante de financement de thèses. D'autres financements de la part des organismes de recherche comme le CEA et IRT SystemX ont aussi permis le financement de deux thèses (thèses de Emma Effa et Huang Yining).

Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

Les compétences techniques de l'équipe ont permis d'accroître sa visibilité à travers le développement de plusieurs logiciels qui sont diffusés à l'extérieur. Comme indiqué au domaine 3, référence 1, l'équipe développe et maintient de nombreux logiciels comme ITS-Tools (portfolio 3). En plus, le Model Checking Contest (portfolio 2), à travers son jeu de données consolidées, démontre aussi les compétences techniques de l'équipe pour implémenter et maintenir une infrastructure logicielle complexe.

Domaine 3. Production scientifique

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Articles (revues)	0.72	0.45	0.45	0.63	0.57	0.57
Communications (conférences)	2.00	1.90	1.63	1.18	0.47	0.57

TABLE 2 – Publications par ETPR par an entre 2017 et 2022

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

Fondements scientifiques des résultats.. Les thèmes de recherche autour de la vérification de systèmes se basent sur des approches formelles qui montrent le bien fondé des résultats. D'autres résultats de l'équipe font l'objet d'une validation expérimentale importante et reproductible. C'est par exemple le cas pour les travaux sur l'inférence de variabilité avec l'outil BUT4Reuse. L'article [Shatnawi et al., 2019] montre une validation expérimentale sur le code source de 70 familles d'application mobiles. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'équipe a participé à l'élaboration de deux benchmarks [Martinez et al., 2018a], [Martinez et al., 2018d] qui sont aussi utilisés pour la validation expérimentale de nos résultats.

Publications.. L'équipe MoVe publie ses résultats dans des conférences et revues de référence : les conférences PETRI NET, FoSSaCS, et TACAS pour la vérification formelle, les conférences SPLC et ICSR pour les travaux autour de la variabilité logicielle, et la conférence BPM pour l'ingénierie des processus. L'équipe porte une grande attention à la qualité des conférences et de revues visées. Les travaux de l'équipe dans les aspects théoriques de

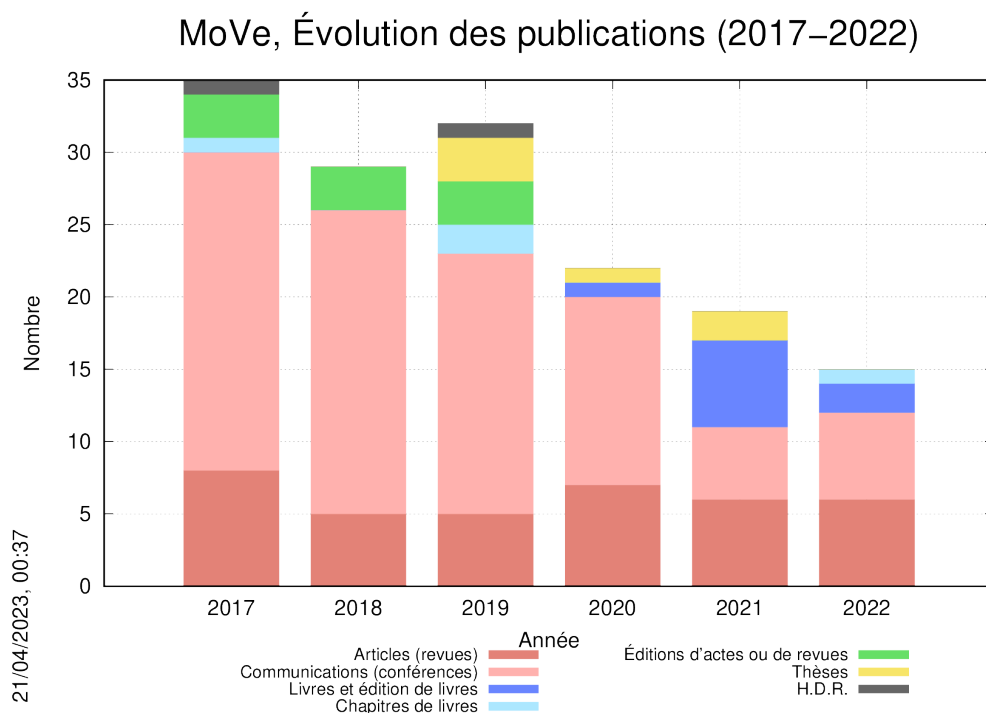


FIGURE 1 – Évolution des publications entre 2017 et 2022

la vérification (portfolio 5) sont publiés dans la FoSSaCS (une conférence classée A). Nous avons publié nos travaux concernant la modélisation des processus (portfolio 1) [Hebig et al., 2017] et la gestion de la variabilité [Pérez et al., 2022] dans la revue majeure IEEE TSE du génie logiciel (une revue classée A*). Plusieurs de nos publications impliquent régulièrement des co-auteurs d'institutions reconnues en France et à l'étranger. Les résultats sur l'extension de BUT4Reuse pour les architectures logicielles (portfolio 4) illustrent ce type de collaboration avec des collègues du LIRMM, du ENSIBS et de l'université de Biskra (Algérie).

Productions de Logiciels. Comme indiqué dans la section *Thématiques scientifiques et leurs enjeux*, plusieurs logiciels sont développés par l'équipe pour le support de la recherche : ITS-Tools, fBPMN, et PalnLeSS, et BUT4Reuse.

Ces outils sont diffusés avec leurs documentations et leurs benchmarks sur Github. Comme cela a déjà été mentionné :

- ▶ les outils ITS-Tools et PalnLeSS ont été primés dans les compétitions de *model checking* et des solveurs SAT (track parallèle),
- ▶ l'outil BUT4Reuse a été exploité dans le cadre du projet européen REVaMP2 par des partenaires industriels [Sadovykh et al., 2017, Grüner et al., 2019].

En plus d'accroître la visibilité de l'équipe, les logiciels développés par l'équipe ont permis le montage de nombreuses collaborations avec d'autres équipes du LIP6 (ex. [Vallade et al., 2020a] avec DELYS) mais aussi des collaborations avec d'autres laboratoires (ex. IRISA [Pinchinat et al., 2019] et LIRMM [Kerdoudi et al., 2022]).

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

La production d'articles est en baisse ces dernières années mais les réalisations logicielles représentent une force de l'équipe et contribuent à son rayonnement (domaine 3, référence 1). La baisse de production pour la période 2020-2022 est liée à plusieurs facteurs. Comme cela a déjà été mentionné, l'équipe a réussi à augmenter le nombre de doctorants ces dernières années. Cependant, 6 des nouveaux doctorants n'ont été recrutés qu'en 2021 et 2022. Il est donc trop tôt pour observer l'impact de ces nouveaux recrutements sur la production scientifique. Un autre facteur concerne le départ en 2020 à la retraite d'un membre de l'équipe et la prise de la responsabilité de directeur du laboratoire d'un autre membre. Aussi, la crise sanitaire du COVID a impacté considérablement la production scientifique de MoVe.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

L'équipe Move est fortement impliquée dans la démarche "open science" prônée par les tutelles du laboratoire. Sa participation se fait au travers des nombreux logiciels qu'elle développe et offre à la communauté. Elle se traduit également par la mise à disposition, l'enrichissement et la maintenance d'un jeu de données permettant de "benchmarker" les outils de model checking.

Tout cela démontre que nous sommes actifs sur le volet de la reproductibilité de nos résultats de recherche.

Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Comme présenté ci-dessus, l'équipe participe à plusieurs projets avec des partenaires industriels. Trois thèses en cours sont réalisées dans le monde de l'industrie dans le cadre de financement CIFRE.

Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Les membres de l'équipe sont fortement impliqués en termes de responsabilités pédagogiques à Sorbonne Université, mais aussi à l'université Paris Cité et à Université Paris Nanterre. A Sorbonne Université, une membre de l'équipe est responsable adjointe de la licence informatique. Une autre membre est co-responsable du parcours SAR du Master d'Informatique (M1–M2). En plus de son rôle comme membre du conseil d'administration de Sorbonne Université, un membre de l'équipe est responsable du service général de la formation initiale. À l'université de Paris Cité, un membre de l'équipe est directeur des études de l'année spéciale du BUT Informatique en formation initiale et continue. À l'université Paris Nanterre, un membre de l'équipe est directeur adjoint du département informatique. Un autre membre est directeur adjoint de l'UFR et membre du CFVU.

Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

L'équipe participe régulièrement aux éditions de la Fête de la Science organisées par Sorbonne Université pour la vulgarisation des sciences. Par exemple, un membre de l'équipe a présenté en 2022 un stand autour de la programmation sur Smartphone⁴.

4. <https://psl.eu/agenda/fete-de-la-science-lespgg-0>

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES

- [1] Business Process Model and Notation, version 2.0.2. Technical report, OMG, January 2014. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>.
- [2] Sven Apel, Don S. Batory, Christian Kästner, and Gunter Saake. *Feature-Oriented Software Product Lines - Concepts and Implementation*. Springer, 2013.
- [3] Oleksii Kononenko, Olga Baysal, and Michael W. Godfrey. Code review quality : How developers see it. In *2016 IEEE/ACM 38th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pages 1028–1038, 2016.
- [4] Ehsan Mirsaeedi and Peter C. Rigby. Mitigating turnover with code review recommendation : Balancing expertise, workload, and knowledge distribution. In *2020 IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pages 1183–1195, 2020.
- [5] Paul Resnick and Hal R. Varian. Recommender systems. *Communication ACM*, 40 :56–58, March 1997.
- [6] Motahareh Bahrami Zanjani, Huzefa Kagdi, and Christian Bird. Automatically recommending peer reviewers in modern code review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 42(6) :530–543, 2016.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE MoVe

- [Barbot et al., 2018a] Barbot, B., Bérard, B., Duploux, Y., and Haddad, S. (2018a). Integrating Simulink Models into the Model Checker Cosmos. In *39th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets and Concurrency*, volume 10877 of *Lecture Notes in Computer Sciences*, pages 363–373, Bratislava, Slovakia. Springer.
- [Bendraou et al., 2007a] Bendraou, R., Combemale, B., Crégut, X., and Gervais, M.-P. (2007a). Definition of an eExecutable SPEM 2.0. In *14th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, pages 390–397, Nagoya, Japan. IEEE Computer Society.
- [Bérard et al., 2020] Bérard, B., Bollig, B., Bouyer, P., Függer, M., and Sznajder, N. (2020). Synthesis in Presence of Dynamic Links. In *GandALF'20 - 11th International Symposium on Games, Automata, Logics, and Formal Verification*, Brussels (online), Belgium. 27 pages, 5 figures.
- [Bérard et al., 2018a] Bérard, B., Bouyer, P., and Jugé, V. (2018a). Finite Bisimulations for Dynamical Systems with Overlapping Trajectories. In Ghica, D. and Jung, A., editors, *27th EACSL Annual Conference on Computer Science Logic (CSL 2018)*, volume 119, pages 26 :1–26 :17, Birmingham, United Kingdom. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- [Bérard et al., 2018b] Bérard, B., Haar, S., and Hélouët, L. (2018b). Hyper Partial Order Logic. In *FSTTCS 2018 - Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science*, volume 122 of *Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)*, pages 20 :1–20 :21, Ahmedabad, India. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- [Bérard et al., 2018c] Bérard, B., Haar, S., Schmitz, S., and Schwoon, S. (2018c). The Complexity of Diagnosability and Opacity Verification for Petri Nets. *Fundamenta Informaticae*, 161(4) :317–349.
- [Bérard and Haddad, 2022] Bérard, B. and Haddad, S. (2022). Revisiting Reachability in Polynomial Interrupt Timed Automata. *Information Processing Letters*, 174 :106208.
- [Bérard et al., 2017c] Bérard, B., Haddad, S., and Lefauchaux, E. (2017c). Probabilistic Disclosure : Maximisation vs. Minimisation. In *FSTTCS 2017*, pages 13 :1–13 :14, Kanpur, India.
- [Bérard et al., 2021b] Bérard, B., Haddad, S., Picaronny, C., Safey El Din, M., and Sassolas, M. (2021b). Polynomial interrupt timed automata : Verification and expressiveness. *Information and Computation*, 277 :104580.
- [Bérard et al., 2017d] Bérard, B., Hélouët, L., and Mullins, J. (2017d). Non-interference in partial order models. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*, 16(2) :44 :1–44 :34.
- [Bérard et al., 2018d] Bérard, B., Kouchnarenko, O., Mullins, J., and Sassolas, M. (2018d). Opacity for linear constraint Markov chains. *Discrete Event Dynamic Systems*, 28(1) :83–108.
- [Bollig et al., 2018] Bollig, B., Lehaut, M., and Sznajder, N. (2018). Round-Bounded Control of Parameterized Systems. In Lahiri, S. K. and Wang, C., editors, *16th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA 2018)*, volume 11138 of *Proceedings of the 16th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA 2018)*, pages 370–386, Los Angeles, California, United States. Springer.
- [Chaouche et al., 2020] Chaouche, A.-C., Ilie, J.-M., and Pêcheux, F. (2020). Dealing with Failures for Execution Consistency in Context-aware Systems. *Procedia Computer Science*, 177 :212 – 219.
- [Chueshev et al., 2020] Chueshev, A., Lawall, J., Bendraou, R., and Ziadi, T. (2020). Expanding the Number of Reviewers in Open-Source Projects by Recommending Appropriate Developers. In *ICSME 2020 - International Conference on Software Maintenance and Evolution*, Adélaïde / Virtual, Australia.
- [Grüner et al., 2019] Grüner, S., Burger, A., Abukwaik, H., El-Sharkawy, S., Schmid, K., Ziadi, T., Paule, A., Suda, F., and Viehl, A. (2019). Demonstration of a Toolchain for Feature Extraction, Analysis and Visualization on an Industrial Case Study. In *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pages 459–465, Helsinki, Finland. IEEE.
- [Hebig et al., 2017] Hebig, R., Khelladi, D. E., and Bendraou, R. (2017). Approaches to Co-Evolution of Metamodels and Models : A Survey. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 43(5) :396–414.
- [Houhou et al., 2019] Houhou, S., Baarir, S., Poizat, P., and Quéinnec, P. (2019). A First-Order Logic Semantics for Communication-Parametric BPMN Collaborations. In *International Conference on Business Process Management (BPM 2019)*, volume 11675 of *Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS)*, pages 52–68, Vienna, Austria.

- [Houhou et al., 2021] Houhou, S., Baarir, S., Poizat, P., and Quéinnec, P. (2021). A Direct Formal Semantics for BPMN Time-Related Constructs. In *ENASE 2021 - 16th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*, pages 138–149, online, Czech Republic.
- [Houhou et al., 2022] Houhou, S., Baarir, S., Poizat, P., Quéinnec, P., and Kahloud, L. (2022). A First-Order Logic Verification Framework for Communication-Parametric and Time-Aware BPMN Collaborations. *Information Systems*, 104 :101765.
- [Ilié et al., 2022] Ilié, J.-M., Chaouche, A.-C., and Pêcheux, F. (2022). A Reinforcement Learning Integrating Distributed Caches for Contextual Road Navigation. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, 13(1) :1–19.
- [Kerdoudi et al., 2019b] Kerdoudi, M. L., Ziadi, T., Tibermacine, C., and Sadou, S. (2019b). Recovering Software Architecture Product Lines. In *ICECCS 2019 - 24th International Conference on Engineering of Complex Computer Systems*, pages 226–235, Nansha, Guangzhou, China. IEEE.
- [Kerdoudi et al., 2022] Kerdoudi, M. L., Ziadi, T., Tibermacine, C., and Sadou, S. (2022). A novel approach for Software Architecture Product Line Engineering. *Journal of Systems and Software*, 186 :111191.
- [Krishna et al., 2019] Krishna, A., Poizat, P., and Salaün, G. (2019). Checking Business Process Evolution. *Science of Computer Programming*, 170 :1–26.
- [Malenfant, 2018] Malenfant, J. (2018). Towards a well-founded software component model for cyber-physical control systems. In *Second IEEE International Conference on Robotic Computing*, Laguna Hills, California, United States.
- [Martinez et al., 2018a] Martinez, J., Ordoñez, N., Tërnavá, X., Ziadi, T., Aponte, J., Figueiredo, E., and Valente, M. T. (2018a). Feature Location Benchmark with ArgoUML SPL. In *Systems and Software Product Line Conference (SPLC)*, Gothenburg, Sweden.
- [Martinez et al., 2018d] Martinez, J. F., Ziadi, T., Papadakis, M., Bissyandé, T. F., Klein, J., and Le Traon, Y. (2018d). Feature location benchmark for extractive software product line adoption research using realistic and synthetic Eclipse variants. *Information and Software Technology*.
- [Pérez et al., 2022] Pérez, F., Ziadi, T., and Cetina, C. (2022). Utilizing Automatic Query Reformulations as Genetic Operations to Improve Feature Location in Software Models. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 48(2) :713 – 731.
- [Pinchinat et al., 2019] Pinchinat, S., Fila, B., Wacheux, F. F., and Thierry-Mieg, Y. (2019). Attack Trees : A Notion of Missing Attacks. In *GrAMSec 2019 - 6th International Workshop on Graphical Models for Security*, volume 11720 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 23–49, Hoboken, NJ, United States.
- [Saddem-Yagoubi et al., 2021] Saddem-Yagoubi, R., Poizat, P., and Houhou, S. (2021). Business Processes Meet Spatial Concerns : the sBPMN Verification Framework. In *FM 2021 - 24th International Symposium on Formal Methods*, volume 13047 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 218–234, Beijing, China.
- [Sadovykh et al., 2017] Sadovykh, A., Bagnato, A., Robin, J., Viehl, A., Ziadi, T., and Martinez, J. (2017). RE-VAMP : Challenges and innovation roadmap for variability management in round-trip engineering of software-intensive systems. *Génie logiciel : le magazine de l'ingénierie du logiciel et des systèmes*, (120) :32–36.
- [Sangnier et al., 2017a] Sangnier, A., Sznajder, N., Potop-Butucaru, M., and Tixeuil, S. (2017a). Parameterized verification of algorithms for oblivious robots on a ring. In Stewart, D. and Weissenbacher, G., editors, *Formal Methods in Computer Aided Design*, pages 212–219, Vienna, Austria. IEEE.
- [Sangnier et al., 2020] Sangnier, A., Sznajder, N., Potop-Butucaru, M., and Tixeuil, S. (2020). Parameterized verification of algorithms for oblivious robots on a ring. *Formal Methods in System Design*, 56 :55–89.
- [Shatnawi et al., 2020] Shatnawi, A., Seriai, A.-D., Sahraoui, H., Ziadi, T., and Seriai, A. (2020). ReSlide : Reusable Service Identification from Software Families. *Journal of Systems and Software*, 170 :110748.
- [Shatnawi et al., 2019] Shatnawi, A., Ziadi, T., and Mohamadi, M. Y. (2019). Understanding Source Code Variability in Cloned Android Families : an Empirical Study on 75 Families. In *26th Asia-Pacific Software Engineering Conference (ASPEC 2019)*, Putrajaya, Malaysia.
- [Sznajder et al., 2020] Sznajder, N., Berard, B., Bollig, B., and Lehaut, M. (2020). Parameterized Synthesis for Fragments of First-Order Logic over Data Words. In *23rd International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures (FoSSaCS'20)*, volume 12077 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 97–118, Dublin, Ireland. Springer.

- [Vallade et al., 2020a] Vallade, V., Le Frioux, L., Baarir, S., Sopena, J., Ganesh, V., and Kordon, F. (2020a). Community and LBD-Based Clause Sharing Policy for Parallel SAT Solving. In *SAT 2020 - 23rd International Conference on Theory and Applications of Satisfiability Testing*, volume 12178 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 11–27, Alghero / Virtual, Italy. Due to the coronavirus COVID-19 pandemic, the conference was held virtually.
- [Xu et al., 2021] Xu, H., Baarir, S., Ziadi, T., Hillah, L. M., Essodaigui, S., and Bossu, Y. (2021). Optimisation for the product configuration system of Renault : towards an integration of symmetries. In *25th ACM International Systems and Software Product Line Conference - Volume B*, volume B of *SPLC '21 : Proceedings of the 25th ACM International Systems and Software Product Line Conference*, pages 86–90, Leicester, United Kingdom. ACM.

A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022

La table ci dessous liste les membres permanents de l'équipe MoVe.

NOM	Prénom	Corps	Employeur
BENDRAOU	Reda	PR	Université paris-Nanterre
BESSE	Cédric	MCF	Sorbonne Université
DUTHEILLET	Claude	MCF	Sorbonne Université
GERVAIS	Marie-Pierre	PR	Université paris-Nanterre
ILIÉ	Jean-Michel	MCF	Université Paris-Cité
JAUME	Mathieu	MCF (HDR)	Sorbonne Université
KORDON	Fabrice	PR	Sorbonne Université
LEGOND-AUBRY	Fabrice	MCF	Université paris-Nanterre
MALENFANT	Jacques	PR	Sorbonne Université
MOUNIER	Isabelle	MCF	Sorbonne Université
PAVIOT-ADET	Emmanuel	MCF	Université Paris-Cité
POITRENAUD	Denis	MCF	Université Paris-Cité
POIZAT	Pascal	PR	Université paris-Nanterre
PRADAT-PEYRE	Jean-François	PR	Université paris-Nanterre
SAINT-JAMES	Emmanuel	MCF (HDR)	Sorbonne Université
SZNAJDER	Nathalie	MCF	Sorbonne Université
THIERRY-MIEG	Yann	MCF (HDR)	Sorbonne Université
ZIADI	Tewfik	MCF (HDR)	Sorbonne Université
ZIANE	Mikal	MCF (HDR)	Université Paris-Cité