



Enseignement de Sous-Traitance dans les Projets Ingénieurs avec une Approche Agile

Sébastien Lengagne^{1,2*}, Jacques Laffont¹, Romuald Aufrère^{1,2}

¹ UCA - Clermont Auvergne INP / Polytech Clermont, département S3ER (Systèmes Embarqués, Énergie Électrique et Robotique)

² Institut Pascal UMR6602 UCA/CNRS

*Auteur de correspondance : sebastien.lengagne@uca.fr

Résumé : *Cet article présente une approche innovante pour l'enseignement de la sous-traitance dans les projets d'ingénierie en utilisant la méthodologie agile. Dans un contexte où la sous-traitance est cruciale pour optimiser les coûts et accélérer le développement des projets, le département S3ER de Polytech Clermont a intégré cette méthode dans son programme de formation. Les étudiants de Master 1 et Master 2 collaborent, les premiers agissant comme sous-traitants pour les seconds. Organisés en équipes avec des rôles précis (directeurs de produit, développeurs) ils gèrent des scénarios de travail qui sont définis, priorisés et suivis via une forge logicielle, Redmine. Le processus inclut des séances d'itération, d'autoformation et de rétrospective, pour optimiser la gestion des tâches. L'évaluation repose sur la complexité des scénarios clôturés et la satisfaction des étudiants, soulignant l'efficacité de cette pédagogie pour former les futurs ingénieurs.*

Mots clés : sous-traitance, projet, méthode agile.

Abstract : *Teaching Subcontracting in Engineering Projects with an Agile Approach : This article presents an innovative approach to teaching subcontracting in engineering projects using agile methodology. In a context where subcontracting is crucial for optimising costs and accelerating project development, the S3ER department at Polytech Clermont has integrated this method into its training programme. Master's 1 and Master's 2 students collaborate, with the former acting as subcontractors for the latter. Organised into teams with specific roles (product managers, developers), they manage work scenarios that are defined, prioritised and monitored via a software forge, Redmine. The process includes iteration, self-training and retrospective sessions to optimise task management. Assessment is based on the complexity of the completed scenarios and student satisfaction, highlighting the effectiveness of this teaching method for training future engineers.*

Keywords: subcontracting, project, agile method

1. Introduction

Dans un contexte industriel et technologique en perpétuelle évolution, la sous-traitance s'impose comme un levier stratégique pour les entreprises. Elle permet non seulement d'optimiser les coûts, mais aussi d'accéder à des compétences spécialisées et d'accélérer le développement des projets. Aujourd'hui, une part significative du travail des ingénieurs consiste à gérer la sous-traitance, que ce soit pour coordonner des prestataires, assurer la qualité des livrables ou piloter des collaborations externes. Maîtriser ces aspects est donc crucial pour garantir l'efficacité et la compétitivité des entreprises.

Le département S3ER (Systèmes Embarqués, Énergie Électrique et Robotique) de Polytech Clermont a intégré un module d'enseignement innovant qui met les étudiants en situation réelle de sous-traitance, en lien avec des projets industriels (préalablement présenté dans [2]). Ce module repose sur une collaboration inter-années, où les étudiants de Master 1 jouent le rôle de sous-traitants pour leurs collègues de Master 2. Cette approche pédagogique vise à développer chez les étudiants des compétences essentielles telles que la gestion de projet, la communication et la collaboration, tout en les préparant aux réalités du marché du travail.

Cet article propose une adaptation de la méthode agile [1], initialement conçue pour le développement informatique, afin de structurer les interactions entre les équipes internes et les sous-traitants. Fondée sur l'adaptabilité, la communication et l'amélioration continue, cette approche vise à maximiser l'efficacité et la qualité des livrables. En intégrant ces principes dans l'enseignement de la sous-traitance, l'objectif est de former des ingénieurs capables de s'adapter aux exigences changeantes du secteur industriel et de contribuer efficacement à des projets complexes et multidisciplinaires.

Cet article se propose d'explorer cette adaptation méthodologique en détaillant son application concrète, son intégration dans le cursus pédagogique, et les résultats obtenus en termes de performance et de satisfaction des étudiants. Nous aborderons d'abord le contexte du projet de fin d'études, puis nous décrirons l'approche agile utilisée pour la sous-traitance, avant de présenter la mise en œuvre concrète et les méthodes d'évaluation mises en place.

2. Contexte : projet de fin d'études

Dans le cadre de leur formation d'ingénieur en Systèmes Embarqués, Energie Electrique et Robotique (<https://polytech-clermont.fr/diplome-dingenieur-en-genie-electrique>) à Polytech Clermont les étudiants réalisent un projet qui s'étend du niveau bac+4 à bac+5.

L'objectif des enseignements de projet est de développer le sens des responsabilités, l'autonomie des étudiants, de leur apporter un complément de formation nécessaire à leur futur métier d'ingénieur. Le fonctionnement des projets a été présenté dans [2] et rappelé sur la Figure 1. Les projets mettent en relation différents acteurs, étudiants, clients, référent, ... Dans le cadre de cet article nous nous focaliserons sur l'interaction entre les étudiants de BAC+5 et BAC+4 dans le cadre de la sous-traitance.

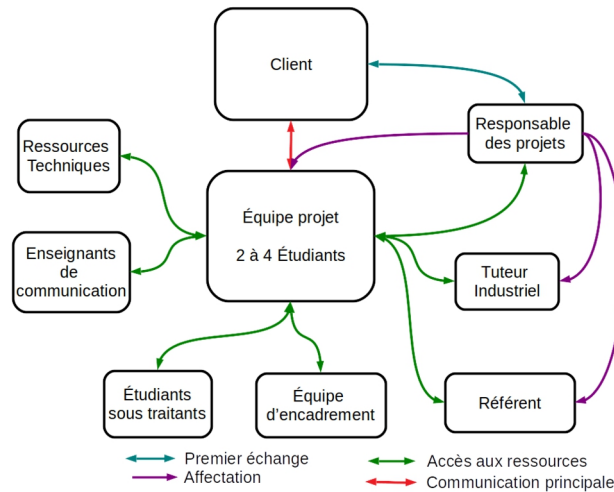


Figure 1. Synoptique d'un projet industriel présenté dans Mise en place de projets industriels pour des élèves ingénieurs.

Outre l'objectif pédagogique pour les étudiants, l'objectif, dans le cadre du projet, est de permettre à l'équipe projet d'avoir accès à une ressource supplémentaire afin d'accroître l'avancement du projet. Elle peut donc sous-traiter des tâches basiques afin de se concentrer sur les tâches importantes du projet ou nécessitant une expertise acquise lors du début du projet. Les tâches en question peuvent concerner la conception de carte électronique, la programmation de fonctions, la recherche de l'état de l'art, les tests exhaustifs, la mise en place ou la réalisation de protocole de tests, etc.

3. Approche Agile pour la sous-traitance

3.1. Méthode initiale

La méthode agile, initialement conçue pour le développement informatique, repose sur des cycles courts de développement appelés sprints ou itérations, ainsi que sur des revues fréquentes permettant d'ajuster les orientations du projet. Cette approche est caractérisée par plusieurs principes clés :

- ◆ Planification des tâches sous-traitées : au début du projet, les tâches à sous-traiter sont identifiées et planifiées. Cette étape est cruciale pour définir les objectifs et les attentes de chaque sprint.
- ◆ Réunions intermédiaires : des réunions régulières sont organisées pour ajuster les livrables et valider les avancées. Ces réunions permettent de s'assurer que le projet reste aligné avec les objectifs initiaux et de résoudre rapidement les problèmes éventuels.
- ◆ Suivi détaillé via une forge logicielle : une forge logicielle, telle que Redmine, est utilisée pour suivre les tâches assignées et les jalons du projet. Cet outil centralise les informations et facilite la collaboration entre les membres de l'équipe.
- ◆ Adaptabilité et amélioration continue : la méthode agile met l'accent sur l'adaptabilité, permettant aux équipes de réagir rapidement aux changements et d'améliorer continuellement leurs processus.

Dans le contexte de l'enseignement de la sous-traitance, cette méthode est adaptée pour structurer les interactions entre les équipes internes et les sous-traitants. Les étudiants sont organisés en équipes de développement, avec des rôles spécifiques de directeurs de produit et de développeurs, afin de maximiser l'efficacité et la qualité des livrables. Cette adaptation vise à préparer les étudiants aux réalités du marché du travail en leur inculquant des compétences en gestion de projet, communication et collaboration.

Dans la suite de cette section, nous détaillons notre adaptation de la méthode agile pour l'enseignement de sous-traitance.

3.2. Développeurs et directeurs de produits

Les étudiants sont divisés en N équipes de développement composées d'un directeur de produit et de développeurs.

Un directeur de produit a pour rôle d'optimiser l'efficacité de son équipe de développement. Les développeurs ont la charge de réaliser les scénarios qui leur sont affectés par le directeur de produit.

Il est conseillé d'avoir des équipes de développement pluridisciplinaires afin de pouvoir répondre à un grand type de demandes.

3.3. Définition des scénarios

Les étudiants niveau bac+5 définissent les scénarios en lien avec leur projet. Pour cela, il faut spécifier un titre concis mais suffisamment clair et le type du scénario qui peut être :

- ◆ *Feature* : développement d'une nouvelle fonctionnalité,
- ◆ *Support* : amélioration d'une fonctionnalité
- ◆ *Bug* : correction d'un problème.

Un scénario doit donner trois informations Qui, Quoi et Pourquoi. Un scénario aura la forme suivante : ``**En tant que** < ... > **je souhaite avoir** < ... > **pour pouvoir** < ... >."', comme par exemple : En tant qu'étudiant sur le projet de mesure de distance, je souhaite avoir une carte électronique incluant un micro-controlleur, un écran et un capteur de distance pour pouvoir développer le programme et réaliser des tests dans 15 jours.

Dans le cas où les étudiants de niveau bac+5 ne peuvent proposer suffisamment de scénarios, l'équipe enseignante peut en proposer.

3.4. Priorité des scénarios

Les priorités sont calquées sur celle de la forge~:

- ◆ Immédiate : réservée aux scénarios ayant une contrainte temporelle très forte.
- ◆ Urgent : réservés aux scénarios dont la réalisation est obligatoire.
- ◆ High : réservé aux scénarios de faible importance.

Les scénarios des enseignants sont de priorité inférieure :

- ◆ Normal : réservé aux scénarios « enseignants » ayant une contrainte temporelle forte.
- ◆ Low : scénarios « enseignants » peu prioritaires.

Les scénarios sont traités par ordre de priorité décroissante.

3.5. Point de scénario

Un point de scénario correspond au travail qu'il est possible de réaliser idéalement pendant une séance de sous-traitance par un seul développeur.

Chaque scénario doit pouvoir être traité en trois séances de sous-traitance, soit environ 12h.

Si le nombre de points de scénarios est supérieur à 3, le scénario sera probablement trop important pour une seule itération (sauf si plusieurs développeurs peuvent travailler dessus en parallèle). Dans ce cas, le directeur de produits devra rapidement négocier avec le client pour que le scénario soit découpé en plusieurs scénarios de taille plus faible. Il convient également d'éviter les scénarios trop courts (moins de 2h).

En situation professionnelle réelle, les points de scénarios peuvent être définis en faisant "un planning poker". Cette méthode consiste à ce que chaque développeur propose son nombre de point de scénario. Si une grande différence est notée, une discussion sur les difficultés du scénario a lieu pour aboutir à un consensus. Elle est cependant peu appropriée dans notre cas à cause des contraintes temporelles.

4. Mise en oeuvre concrète

La mise en œuvre de la sous-traitance dans le cadre pédagogique repose sur un processus structuré, conçu pour maximiser l'efficacité et la collaboration entre les étudiants. Ce processus se décompose en plusieurs étapes clés, chacune visant à intégrer les principes de l'approche agile dans un environnement d'apprentissage.

- ◆ Définition des Scénarios de Sous-Traitance : La première étape consiste à identifier les tâches pouvant être externalisées. Ces tâches sont sélectionnées pour correspondre aux compétences des étudiants et aux besoins du projet.
- ◆ Assignation et Suivi des Tâches : Une fois les scénarios définis, ils sont assignés aux étudiants via une forge logicielle. Ce suivi permet de s'assurer que chaque tâche est correctement exécutée et intégrée dans le projet global.
- ◆ Revues et Intégration : Des revues régulières sont organisées pour valider les avancées et intégrer progressivement les contributions des sous-traitants dans le projet principal. Ces revues sont essentielles pour maintenir la cohérence et la qualité du projet.

Cette approche structurée permet non seulement de renforcer les compétences des étudiants en gestion de projet et en collaboration, mais aussi de les préparer aux défis du monde professionnel.

4.1. Déroulement de l'enseignement de sous-traitance

La sous-traitance représente 48 heures d'enseignement pour les étudiants. Elle est découpée en 3 périodes de 16h : 3 séances d'itérations de 4 heures plus une séance d'autoformation (labo) et de retrospective comme montré sur la Figure 2. L'emploi du temps est conçu de manière à avoir trois séances toutes les deux semaines.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1h		Itération 1	Itération 1	Itération 1	Rétrospective	Itération 2	Itération 2	Itération 2	Rétrospective	Itération 3	Itération 3	Itération 3	Séance Finale
1h													
1h	Séance Préparatoire				Labo				Labo				
1h													

Figure 2. Organisation chronologique de la sous-traitance.

4.2. Itération

Une itération est une période limitée dans le temps pendant laquelle les actions sont focalisées sur le développement. Durant une itération, le rôle des développeurs est de terminer un maximum de tâches. L'organisation des tâches à traiter est définie lors de la mêlée quotidienne.

4.3. Séance Labo

Lors de la séance inter itérations, appelée séance labo, les développeurs sont en théorie libres, ils profitent en général de cette séance pour s'autoformer sur certains points ou faire des recherches sur des aspects les intéressant. Pratiquement, les développeurs en profitent pour finaliser les rendus de l'itération précédentes.

4.4. Rétrospective de l'itération

Cette réunion, menée par le directeur des produits avec son équipe de développement, permet de faire le bilan de l'itération qui vient de se terminer.

Lors de cette séance les directeurs de produit listent en concertation avec leur équipe de développement les points sont à améliorer et les éléments de satisfaction.

À l'issue de cet inventaire, le point ou les deux ou trois points les plus importants sont étudiés en détail et une action corrective est définie collégialement en concertation avec l'équipe encadrante. Elle devra être mise en place lors de l'itération suivante.

4.5. Constitution des équipes de développement

Avant la première séance, les étudiants reçoivent des documents et informations sur la méthode agile en général et sur le déroulement de l'enseignement en particulier.

Lors de la séance préparatoire, indiqué sur la Figure 2, les étudiants répondent à un QCM en ligne en lien avec ces documents et informations. Les N étudiants ayant la meilleure note aux QCM constituent l'ensemble des directeurs de produit. Ils sont alors isolés pour constituer les équipes via un mode type "serpentin": le premier directeur de produit choisit un étudiant jusqu'au dernier directeur de produit, puis le dernier directeur de produit choisit un autre étudiant jusqu'au premier. Cette étape est répétée jusqu'à ce que tous les étudiants soient répartis dans une équipe de développement.

4.6. Utilisation de la forge

Afin de gérer les scénarios et les équipes, nous utilisons une forge *redmine* [3].

La forge informatique, souvent appelée "forge logicielle", est un environnement collaboratif utilisé pour le développement de logiciels qui offre une plateforme intégrée pour la gestion de projets et le suivi des bugs.

Redmine est une application web open-source de gestion de projets et de suivi des bugs, utilisée dans le domaine du développement logiciel. Elle permet aux équipes de collaborer en centralisant divers aspects du cycle de vie d'un projet, tels que la planification, le suivi des tâches, ... Les utilisateurs peuvent créer des tickets pour signaler des problèmes ou des demandes de fonctionnalités, attribuer des tâches aux membres de l'équipe, et suivre l'avancement des travaux à travers des diagrammes de Gantt et des calendriers.

4.7. Affectation des scénarios

Les équipes de développement vont essayer de mener à bien un maximum de scénarios pendant la période dédiée à la sous-traitance. Lors de la première séance de sous-traitance, les directeurs de produits vont se partager les différents scénarios. Il leur appartiendra ensuite d'estimer la complexité avec leur équipe de développement. Chaque directeur de produits met à jour sur la forge les points de scénarios qui ont été définis.

Les différents directeurs de produits se concertent et peuvent modifier les affectations des scénarios. Si nécessaire, les affectations des demandes sont mises à jour sur la forge.

Alors, les directeurs de produit planifient la première itération, ils se réunissent avec leur équipe de développement et vont affecter les scénarios. La quantité de scénarios à affecter dépendra du nombre de développeurs. Pour d développeurs il faudrait un nombre de points de scénarios de $3 \times d$.

Les scénarios sont traités par ordre de priorité décroissante. créer des tickets pour signaler des problèmes ou des demandes de fonctionnalités, attribuer des tâches aux membres de l'équipe, et suivre l'avancement des travaux à travers des diagrammes de Gantt et des calendriers.

4.8. Sanctuarisation du carnet d'itération.

Le carnet d'itération est la liste des scénarios affectés à une itération pour une équipe de développement. Le carnet est rempli avant le début d'une itération en fonction du nombre de membres de l'équipe de développement.

Les directeurs de produits doivent faire tout leur possible afin d'éviter que le carnet d'itération en soit modifié pendant que l'itération a lieu. Pour cela ils doivent proposer en priorité que les nouveaux scénarios soient ajoutés au carnet de produit et planifiés pour l'itération suivante.

Il en va de l'efficacité et de la motivation de l'équipe de développement. Cela permet aussi d'éviter que l'équipe de développement touche à plusieurs scénarios sans en finir un.

4.9. Mêlée debout à chaque début de séance.

Chaque séance de sous-traitance débute par une mêlée debout. Cette mêlée ne concerne que le directeur de produit et son équipe de développement. Lors de cette réunion en quelques minutes chaque développeur indique ce qu'il a fait la séance dernière et ce qu'il pense faire lors de cette séance. Enfin il détaille les points bloquants. Une stratégie est donc mise en place lors de cette mêlée. Les directeurs de produit modifient les scénarios en conséquence.

Les tâches qui vont être traitées sont placées dans la colonne « In Progress » dans le tableau des tâches de la forge.

5. Evaluation

5.1. Evaluation des étudiants.

Les enseignants responsables de la sous-traitance évalueront les scénarios clôturés par une équipe et attribueront des points en fonction de leur complexité. A ce nombre de points correspondra une note pour chaque équipe.

Les étudiants au sein d'une équipe pourront moduler leur note à la condition que la note moyenne soit respectée en fournissant une justification à l'équipe enseignante. En cas de désaccord au sein de l'équipe, chaque membre devra fournir un rapport d'activité détaillant les scénarios sur lesquels il est intervenu, les scénarios clôturés ainsi que toutes tâches annexes ou informations permettant de garantir une évaluation exhaustive de son travail. Ces informations devront être concordantes avec l'activité reportée sur la forge.

Les enseignants évalueront alors chacun de ces rapports et les noteront.

5.2. Evaluation de l'enseignement.

L'évaluation de l'enseignement de la sous-traitance par les étudiants montre globalement une satisfaction élevée, reflétant l'efficacité de l'approche pédagogique mise en place. Comme le montre le tableau 1, la majorité des étudiants se déclarent satisfaits de cette expérience d'apprentissage :

année	nombre élèves	nombre satisfait	% satisfait
2024-2025	31	31	100
2023-2024			
2022-2023	42	22	52
2021-2022	46	44	96
2020-2021	36	33	92
2019-2020	34	32	94

Tableau 1. Évaluation des enseignements par les étudiants.

Ces résultats indiquent que l'intégration de la méthode agile dans l'enseignement de la sous-traitance est globalement bien reçue. Les étudiants apprécient particulièrement la structure et l'organisation des projets, ainsi que l'opportunité de travailler sur des scénarios concrets. A noter que l'année 2022-2023 offre un taux de satisfaction moins important dû à problèmes de manque de propositions de scénarios par les étudiants de niveau M2 amenant à des difficultés de communication.

Cependant, quelques défis subsistent, notamment dans les relations entre les sous-traitants (étudiants de Master 1) et les clients (étudiants de Master 2). Ces relations peuvent parfois être source de tensions, en raison de différences dans les attentes et les niveaux de compétence. Ces situations offrent toutefois des opportunités d'apprentissage précieuses, permettant aux étudiants de développer des compétences en communication et en gestion des relations professionnelles.

Dans l'ensemble, l'approche agile adoptée pour l'enseignement de la sous-traitance est perçue positivement, et les retours des étudiants soulignent son efficacité pour les préparer aux réalités du monde professionnel.

6. Conclusion

L'intégration de la méthode agile dans l'enseignement de la sous-traitance au sein du département S3ER de Polytech Clermont s'avère être une approche pédagogique prometteuse et efficace. En adaptant les principes agiles au contexte de la sous-traitance, les étudiants sont non seulement exposés à des méthodes de gestion de projet modernes, mais ils développent également des compétences essentielles en communication, collaboration et adaptabilité.

Les résultats obtenus, tant en termes de satisfaction des étudiants que de performance des projets, témoignent du succès de cette initiative. Bien que des défis subsistent, notamment dans la gestion des relations entre sous-traitants et clients, ces expériences offrent des opportunités précieuses d'apprentissage et de croissance personnelle.

En fin de compte, cette approche prépare les futurs ingénieurs à relever les défis complexes et multidisciplinaires du monde professionnel, tout en valorisant leur contribution et en optimisant leurs compétences.

Références

- [1] T. Dingsoyr, S. Nerur, V. Balijepally and N.B. Moe , *A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development. Journal of Systems and Software* 85, 6 (2012), 213–1221. *Special Issue: Agile Development*.
- [2] J .Laffont and S. Lengagne, *Mise en place de projets industriels pour des élèves ingénieurs. Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes* 22 (Oct. 2023), 1021.
- [3] A. Lesyuk, *Mastering Redmine. Packt Publishing*, 2016.

Biographie des auteurs

Sébastien Lengagne : Maître de Conférences-HDR au département Systèmes Embarqués, Energie Electrique et Robotique de Polytech Clermont pour la partie enseignement (automatique, robotique, programmation, projet) et au laboratoire Institut Pascal (UMR 6602 UCA/CNRS) pour ses activités de recherche sur les thématiques de la robotique et intelligence artificielle.

Jacques Laffont : Professeur agrégé au département Systèmes Embarqués, Energie Electrique et Robotique de Polytech Clermont (Gestion des projets et interface avec le tissu industriel, systèmes embarqués, temps réel, Linux embarqué).

Romuald Aufrère : Professeur des universités au département Systèmes Embarqués, Energie Electrique et Robotique de Polytech Clermont pour la partie enseignement (automatique, robotique)et au laboratoire Institut Pascal (UMR 6602 UCA/CNRS) pour ses activités de recherche sur les thématiques de la perception multi-sensorielle