

Rapport

Projet IEC61499 – Universal Automation

*Formation Informatique et Systèmes
Intelligents Embarqués*
Année 2025 – 2026

PRI 5A

Membres de l'équipe :

Damien LORIGEON – Chef de projet/Dev IEC61131 & IEC61499

Client :

Jean Paul CHEMLA – Professeur Polytech

Arthur OUSSOUNKIRI ELIEZER GAMBO – Doctorant Université de
Reims

Bernard RIERA – Professeur Université de Reims

Stéphane LECASSE – Professeur Université de Reims

Auteur : Damien LORIGEON

Version 1.0 - 01/02/2026

Objectifs

Ce rapport a pour objectif de présenter le travail réalisé dans le cadre du Projet de Recherche et d'Innovation (PRI) « Projet IEC61499 – Universal Automation ». Il synthétise la démarche de comparaison entre les normes IEC 61131-3 et IEC 61499, depuis l'analyse des spécifications jusqu'aux résultats obtenus sur l'application de tri de pièces Factory I/O. Ce document retrace également la gestion de projet, les difficultés rencontrées et les enseignements tirés de cette expérience.

Référence

1. Internes

Référence :	Titre	Lien
PRI Polytech Tours	Projet IEC61499 – Universal Automation	<p>Dépôt GIT : https://github.com/EIDLOR/PRI-IEC61499-UniversalAutomation.git</p> <p>Équipe Teams : Général Projet - Universal Automation - IEC 61499 Microsoft Teams</p>

2. Externes

Référence :	Titre	Lien
UniversalAutomation.org	Ressources IEC 61499 / EAE	https://universalautomation.org

Définition

- **IEC 61131** : norme historique de programmation des automates (POU, Grafcet, ST, etc.).
- **IEC 61499 (EAE)** : norme orientée événements, blocs fonctionnels distribués.
- **Factory IO** : outil de simulation 3D de systèmes industriels.
- **EAE** : EcoStruxure Automation Expert.
- **ECE** : EcoStruxure Control Expert.

Rapport pour le projet

« Projet IEC61499 – Universal Automation »

Descriptions		
Projet :	Projet IEC61499 – Universal Automation	
Clients	Jean Paul CHEMLA	jean-paul.chemla@univ-tours.fr
Auteurs	Damien LORIGEON	damien.lorigeon@univ-tours.fr
Date d'émission :	01/02/2026	

Validation			
Nom	Date	Valide (O/N)	Commentaires
LORIGEON	01/02/2026	O	
CHEMLA			
RIERA			
GAMBO			

Suivis des versions		
Version	Date	Description de la modifications
1	01/02/2026	Première version

Table des matières

Remerciement	8
1 Introduction	9
1.1 Contexte du projet.....	9
1.2 Objectifs du document.....	9
1.3 Périmètre du plan de développement	10
2 Présentation des normes IEC 61131-3 et IEC 61499	10
2.1 La norme IEC 61131-3	10
2.2 La norme IEC 61499	11
2.3 Tableau comparatif synthétique.....	11
3 Gestion de projet.....	12
3.1 Cycle de développement	12
3.2 Organisation et suivi	12
3.3 Suivi des charges (SPER).....	15
3.4 Analyse des risques.....	15
3.5 Liste des livrables produits	16
4 Architecture et conception du système	17
4.1 Description fonctionnelle	17
4.2 Architecture logicielle.....	17
4.3 Traduction GRAFCET	18
5 Résultats comparatifs	21
5.1 Synthèse de la comparaison	21
5.2 Analyse détaillée par critère.....	22
6 Bilan financier	24
6.1 Budget prévisionnel.....	24
6.2 Bilan des charges réalisées.....	24
7 Prise de recul sur le projet.....	25
7.1 Points positifs	25
7.2 Points critiques et difficultés rencontrées.....	25
8 Impact environnemental.....	27
8.1 Impact direct du projet	27

8.2 Perspectives pour l'industrie.....	27
Conclusion	28
Références documentaires.....	29
Documentaire internes du projet	29

Remerciement

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce projet.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Jean-Paul CHEMLA, professeur à Polytech Tours, pour son engagement constant tout au long de ce projet, sa disponibilité et son accompagnement rigoureux qui m'ont permis de mener ce travail à bien.

J'adresse également mes remerciements les plus chaleureux à Monsieur Stéphane LECASSE, professeur à l'Université de Reims, pour tous ses précieux conseils et le temps qu'il m'a généreusement accordé. Son expertise sur la norme IEC 61499 et ses recommandations sur l'approche orientée objet ont été déterminantes dans la réorientation de mon développement et la compréhension des concepts fondamentaux de cette technologie.

Je remercie également Monsieur Bernard RIERA, professeur à l'Université de Reims, et Monsieur Arthur OUSSOUNKIRI ELIEZER GAMBO, doctorant, pour leur implication dans l'encadrement de ce projet et leurs retours constructifs lors des différentes revues.

Enfin, je remercie l'ensemble des équipes pédagogiques de Polytech Tours et de l'Université de Reims pour avoir rendu possible cette collaboration inter-établissements enrichissante.

1 Introduction

1.1 Contexte du projet

Le projet s'inscrit dans le cadre du PRI (Projet de Recherche et d'Innovation) de 5^e année à Polytech Tours.

Il consiste à réaliser une preuve de concept (POC) comparant deux normes de programmation d'automates : IEC 61131 et IEC 61499, à travers un cas concret de tri de pièces simulé dans Factory IO.

L'industrie 4.0 imposent une évolution des méthodes de programmation des automatismes. La norme IEC 61131-3, standard depuis plus de 30 ans, est aujourd'hui challengée par la norme IEC 61499 qui propose une approche événementielle et distribuée mieux adaptée aux exigences modernes de flexibilité et d'interopérabilité.

Les encadrants académiques (Polytech Tours et Université de Reims) souhaitent disposer d'un exemple pour démontrer l'intérêt pédagogique et industriel d'IEC 61499.

1.2 Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est de réaliser une preuve de concept (POC) permettant de comparer objectivement les deux normes de programmation d'automates IEC 61131-3 et IEC 61499, à travers un cas concret d'application industrielle : une usine virtuelle de tri de pièces par couleur simulée dans Factory I/O.

- Analyser et comprendre les deux normes de programmation
- Programmer sous les contraintes des deux normes pour obtenir le même résultat sous Factory I/O.
- Comparer objectivement les résultats selon des critères définis
- Produire une documentation méthodologique réutilisable pour l'approche IEC 61499

1.3 Périmètre et application

L'étude s'appuie sur une usine virtuelle de tri de pièces modélisée dans Factory I/O. Cette installation représente une chaîne de production automatisée permettant de détecter, acheminer et trier des pièces selon leur couleur (Bleu, Vert, Gris) vers trois sorties distinctes via des aiguilleurs (Sorters).

Les logiciels retenus sont EcoStruxure Control Expert (ECE) pour la norme IEC 61131-3 et EcoStruxure Automation Expert (EAE) pour la norme IEC 61499, conformément aux outils imposés par les encadrants.

2 Présentation des normes IEC 61131-3 et IEC 61499

2.1 La norme IEC 61131-3

La norme IEC 61131-3 est la norme historique de programmation des automates programmables industriels (API). Publiée pour la première fois en 1993, elle définit cinq langages de programmation standardisés : le Ladder Diagram (LD), le Function Block Diagram (FBD), le Structured Text (ST), l'Instruction List (IL) et le Sequential Function Chart (SFC).

L'approche est basée sur un cycle d'exécution séquentiel où le programme s'exécute de manière cyclique, lisant les entrées, exécutant la logique, puis mettant à jour les sorties. Le SFC (GRAFCET) permet de représenter naturellement les séquences d'automatismes, c'est sur cette base commune que reposera notre programmation.

Caractéristiques principales :

- Exécution cyclique et déterministe
- Programmation centralisée sur un seul automate
- Organisation en Program Organization Units (POUs)
- Large base installée et documentation abondante

2.2 La norme IEC 61499

La norme IEC 61499 est une norme plus récente qui propose une approche fondamentalement différente basée sur les événements et les blocs fonctionnels distribués. Elle répond aux besoins de l'industrie 4.0 en permettant une programmation modulaire, réutilisable et portable entre différents contrôleurs.

L'approche événementielle signifie que le code ne s'exécute que lorsqu'un événement survient, contrairement à l'exécution cyclique de l'IEC 61131-3. Les blocs fonctionnels sont autonomes et communiquent via des événements et des données typées.

Caractéristiques principales

- Exécution événementielle
- Distribution sur plusieurs contrôleurs (multi-marques)
- Blocs fonctionnels encapsulés et réutilisables
- Interopérabilité via le standard Universal Automation

2.3 Tableau comparatif

Voici un tableau comparatif des 2 normes :

Critère	IEC 61131-3	IEC 61499
Modèle	Cyclique	Événementiel
Architecture	Centralisée	Distribuée
Unité de base	POU (Programme Organization Units)	Function Block
Communication	Variables partagées	Événements + Données
Maturité	30+ ans	~15 ans
Documentation	Très abondante	Limitée
Réutilisabilité	Limitée	Excellente
Portabilité	Faible (propriétaire)	Élevée (standard ouvert)

3 Gestion de projet

3.1 Cycle de développement

Le projet suit une méthodologie en cycle en V adaptée aux projets d'automatisme. Ce choix permet d'assurer une traçabilité complète entre les exigences, la conception, l'implémentation et les tests.

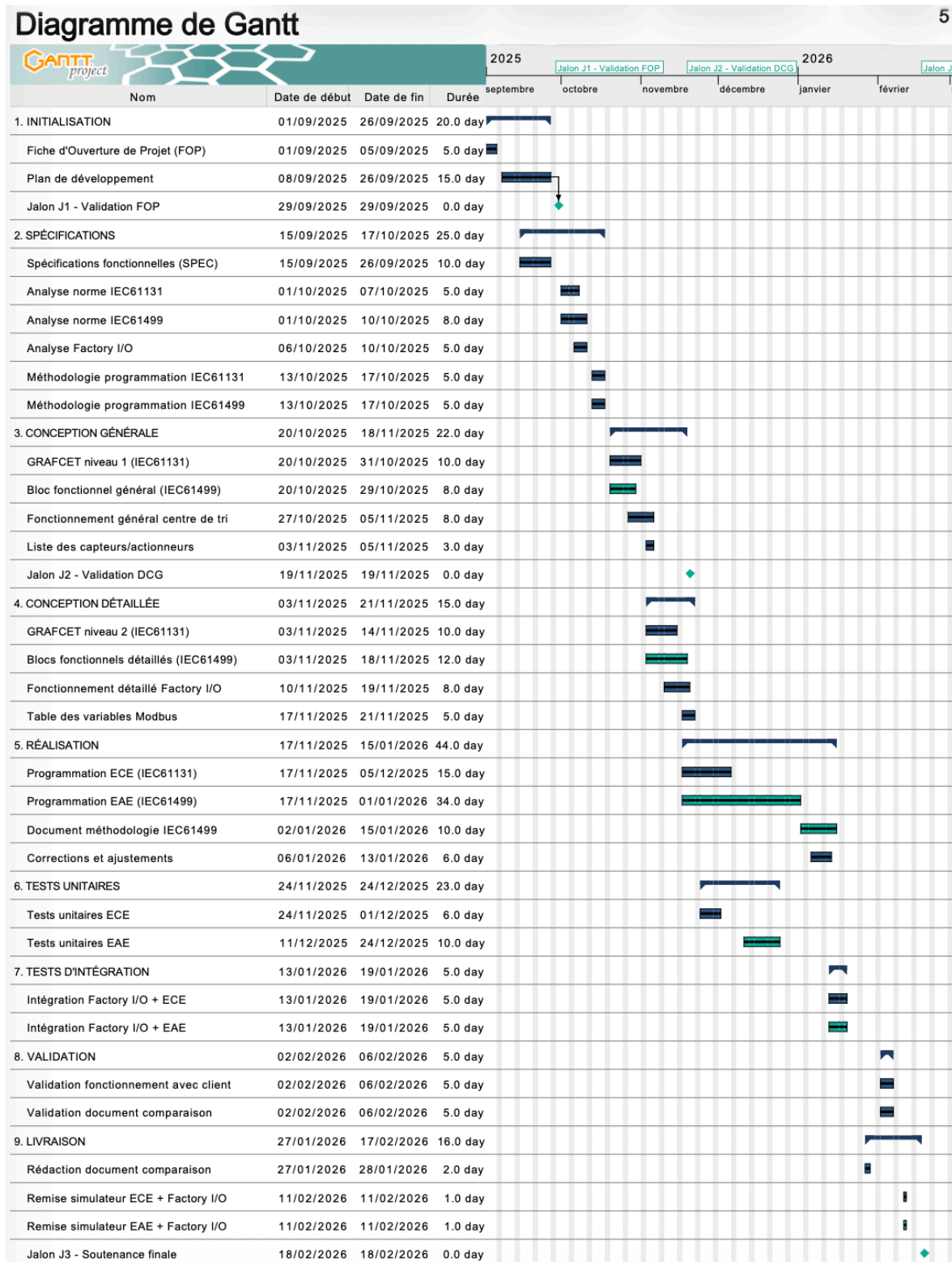
Phase	Objectif	Livrables	Échéance
Phase 1 - Initialisation	Cadrage du projet	FOP, Plan de développement, Spécifications	22/10/2025
Phase 2 - Analyse	Conception fonctionnelle	DCG, DCD, GRAFCET	19/11/2025
Phase 3 - Développement	Implémentation ECE/EAE	Programmes, Documentation	Déc. 2025
Phase 4 - Tests	Validation unitaire et intégration	Fiches de tests	Jan. 2026
Phase 5 - Validation	Comparaison et recette	Tableau comparatif, PV	Fév. 2026

3.2 Organisation et suivi

L'organisation du projet repose sur une structure de comités permettant un suivi régulier de l'avancement et des décisions. Le comité de pilotage se réunit toutes les 4 à 6 semaines pour valider les jalons majeurs, tandis que le comité de suivi technique se tient toutes les 2 semaines pour revue de l'avancement.

Les outils de gestion utilisés sont :

- GanttProject pour la planification :



- Microsoft Teams pour la communication et le partage de document :

< Toutes les équipes
 PU **Général** Publications Partagé +
 Tous les documents Dans les messages
 + Nouveau Charger Modifier en mode grille Partager Tous les documents Détails

Projet - Universal Automation - IEC 61...

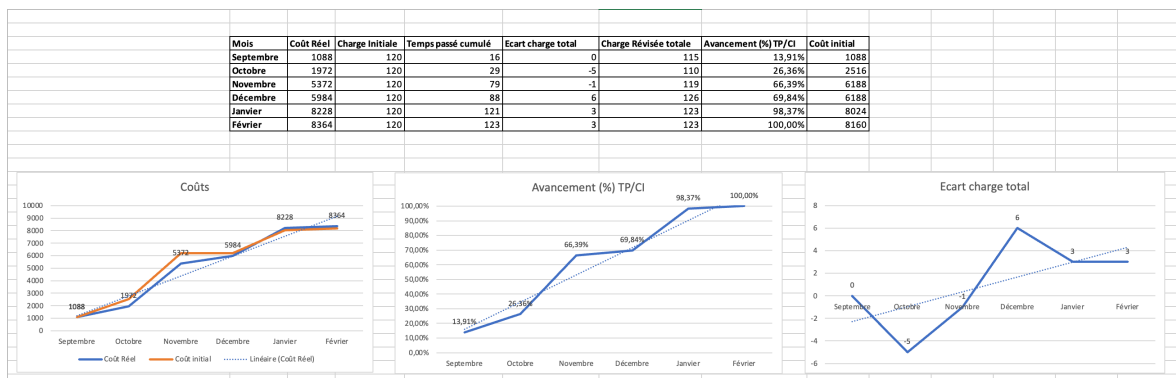
Canaux principaux
Général

Documents > General

Nom	Modifié	Modifié par
00 - Documentation	17 septembre 2025	Damien Lorigeon
01 - Cahier des charges	17 septembre 2025	Damien Lorigeon
02 - Gestion de projet	17 septembre 2025	Damien Lorigeon
03 - Rapports et Diapos	17 septembre 2025	Damien Lorigeon
04 - Analyse & Conception	23 octobre 2025	Damien Lorigeon
05 - Développements	23 octobre 2025	Damien Lorigeon
06 - Livrables	17 septembre 2025	Damien Lorigeon

- Fichiers SPER (Suivi, Pilotage, Évaluation, Reporting) pour le suivi détaillé des charges et de l'avancement

Phase	Tâche	Qui	Charge Initiale (h)	TPS Période(h)	TPS Cumul (h)	Reste à passer (h)	CR (h)	Ecart de charge (h)	Prix de revient unitaire(€)	Coût Initial (€)	Coût Révisé (€)	Coût Réel (€)	Validation
Initialisation	Fiche d'Ouverture du Projet	Chef de projet	1	1	1	0	1	0	68	68	68	68	Oui
	Plan de développement	Chef de projet	10	10	10	0	10	0	68	680	680	680	Oui
	EPEC	Chef de projet	5	5	5	0	5	0	68	340	340	340	Oui
Spécifications	Analyse norme IEC61131	Chef de projet	1	1	1	0	1	0	68	68	68	68	Oui
	Analyse norme IEC61499	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	Analyse du fonctionnement du centre de tri de pièce FactoryIO	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	Méthodologie de programmation du centre de tri de pièce (Norme IEC61131)	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	Méthodologie de programmation du centre de tri de pièce (Norme IEC61499)	Chef de projet	4	4	4	0	4	0	68	272	272	272	Oui
Conception générale	EC61131 - Grafcet de niveau 1	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	EC61499 - Bloc fonctionnel général	Chef de projet	4	4	4	0	4	0	68	272	272	272	Oui
	Fonctionnement général du centre de tri de pièce	Chef de projet	1	3	3	0	3	2	68	68	204	204	Oui
	Table des variables Centre de tri de pièce	Chef de projet	2	1	1	0	1	-1	68	136	68	68	Oui
Conception détaillée	EC 61499 - Bloc fonctionnel détaillé	Chef de projet	7	6	6	0	6	-1	68	476	408	408	Oui
	EC 61131 - Grafcet de niveau 2	Chef de projet	7	5	5	0	5	-2	68	476	340	340	Oui
	Fonctionnement détaillé du centre de tri de pièce FactoryIO	Chef de projet	4	4	4	0	4	0	68	272	272	272	Oui
	Table des variables centre de tri de pièce FactoryIO	Chef de projet	3	2	2	0	2	-1	68	204	136	136	Oui
Matérialisation	Programmation du centre de tri de pièce sur ECE	Chef de projet	12	7	7	0	7	-5	68	816	476	476	Oui
	Programmation du centre de tri de pièce sur IAE	Chef de projet	13	34	34	0	34	21	68	884	2312	2312	Oui
	Rédaction du document de méthodologie de programmation sur la norme IEC61499	Chef de projet	3	3	3	0	3	0	68	204	204	204	Oui
	Correction (optionnel)	Chef de projet	7	7	7	0	7	0	68	476	476	476	Oui
Tests unitaires	Test unitaire programme IAE	Chef de projet	7	3	3	0	3	4	68	476	204	204	Oui
	Test unitaire programme ECE	Chef de projet	2	3	3	0	3	1	68	136	204	204	Oui
	Test d'intégration FactoryIO et programme ECE	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	Test d'intégration FactoryIO et programme IAE	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
Validation	Validation du fonctionnement avec le client	Chef de projet	10	2	2	0	2	8	68	680	136	136	Oui
	Validation du document de comparaison par le client	Chef de projet	2	2	2	0	2	0	68	136	136	136	Oui
	Rédaction du document de comparaison norme IEC61131 et IEC 61499	Chef de projet	3	3	3	0	3	0	68	204	204	204	Oui
Livraison	Remise du simulateur fonctionnel IAE et Factory IO (EC61499)	Chef de projet	0	0	0	0	0	0	68	0	0	0	Oui
	Remise du simulateur fonctionnel IAE et Factory IO (EC61131)	Chef de projet	0	0	0	0	0	0	68	0	0	0	Oui
Total			120	123	123	0	123	3	0	8160	8364	8364	
Résumé			Quantité d'heure		PLU								
Chef de Projet			120		68								
Total			120		8160								



3.3 Suivi des charges (SPER)

Le suivi des charges a été effectué mensuellement à l'aide du fichier SPER. Le tableau ci-dessous présente la synthèse de l'avancement par mois :

Mois	Coût Réel	Charge Initiale	Temps passé cumulé	Ecart charge total	Charge Révisée totale	Avancement (%) TP/CI	Coût initial
Septembre	1088	120	16	0	115	13,91%	1088
Octobre	1972	120	29	-5	110	26,36%	2516
Novembre	5372	120	79	-1	119	66,39%	6188
Décembre	5984	120	88	6	126	69,84%	6188
Janvier	8228	120	121	3	123	98,37%	8024
Février	8364	120	123	3	123	100,00%	8160

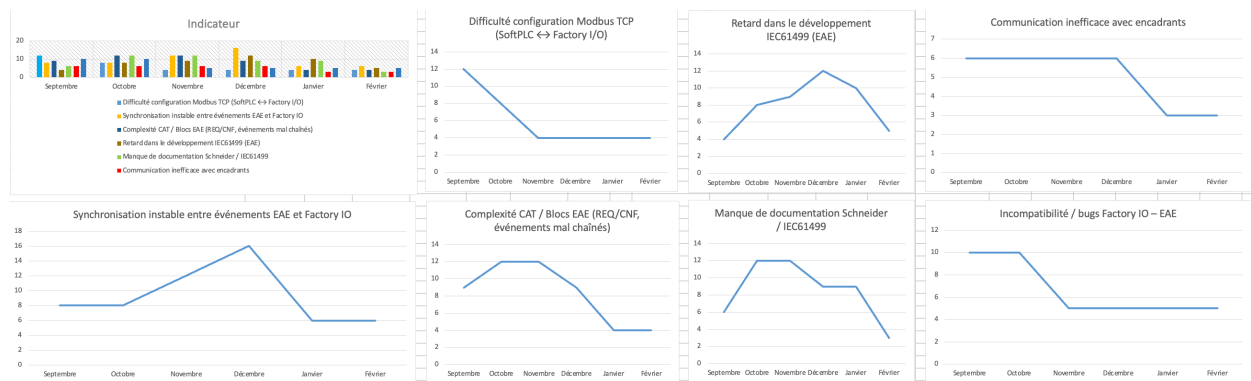
La charge initiale prévue était de 120 heures. Les écarts observés sont minimes (entre -5h et +6h selon les mois), ce qui témoigne d'une bonne estimation initiale malgré le temps de programmation EAE qui a été sous-dimensionner.

3.4 Analyse des risques

Une analyse des risques a été menée en début de projet et mise à jour mensuellement. Les risques identifiés et leur évolution sont présentés ci-dessous :

ID	Risques	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
R1	Difficulté configuration Modbus TCP (SoftPLC ↔ Factory I/O)	12	8	4	4	4	4
R2	Synchronisation instable entre événements EAE et Factory IO	8	8	12	16	6	6
R3	Complexité CAT / Blocs EAE (REQ/CNF, événements mal chaînés)	9	12	12	9	4	4
R4	Retard dans le développement IEC61499 (EAE)	4	8	9	12	10	5
R5	Manque de documentation Schneider / IEC61499	6	12	12	9	9	3
R6	Communication inefficace avec encadrants	6	6	6	6	3	3
R7	Incompatibilité / bugs Factory IO – EAE	10	10	5	5	5	5

Tous les risques identifiés ont été maîtrisés et ramenés à un niveau acceptable grâce aux actions de mitigation mises en place.



3.5 Liste des livrables produits

L'ensemble des livrables produits au cours du projet est listé ci-dessous, organisé par phase :

Phase Initialisation

- FOP (Fiche d'Ouverture de Projet) - V2.0
- Plan de développement - V0.2
- Spécifications - V0.2

Phase Analyse et Conception

- Dossier de Conception Général (DCG) - V2
- Dossier de Conception Détaillé (DCD) - V2
- GRAFCET G7 Niveau 2 (fichier draw.io)
- Schémas IEC61499 (fichier draw.io)

Phase Développement et Validation

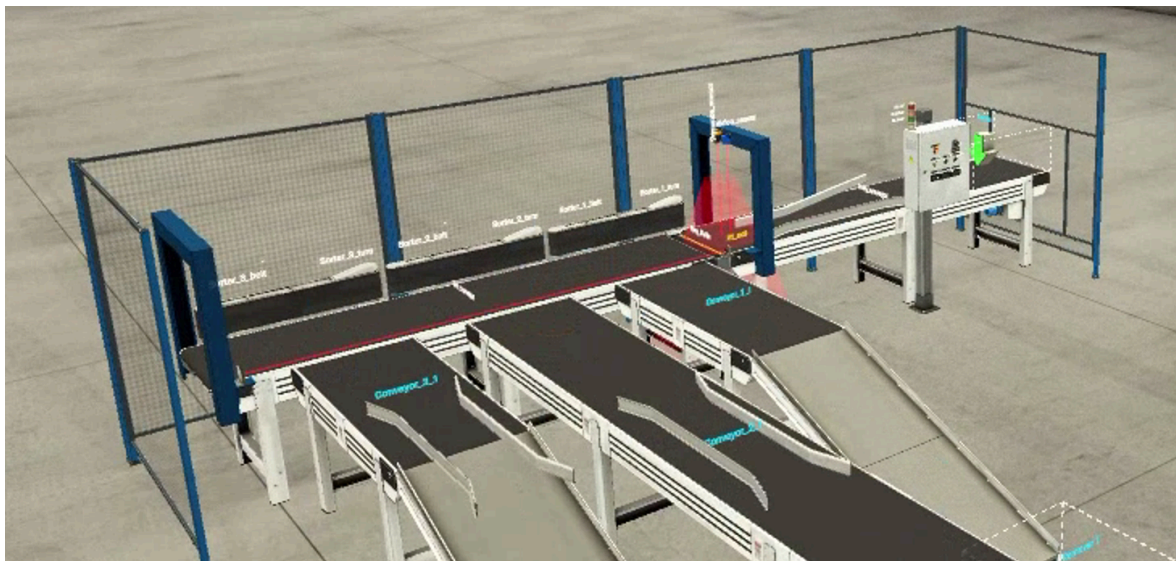
- Programme EcoStruxure Control Expert (IEC 61131-3)
- Programme EcoStruxure Automation Expert (IEC 61499)
- Méthodologie de programmation IEC61499 - V1
- Tableau comparatif IEC61131 vs IEC61499 - V1
- Fichier SPER - V1.1
- Fichier Indicateurs et Risques - V1.1

4 Architecture et conception du système

4.1 Description fonctionnelle

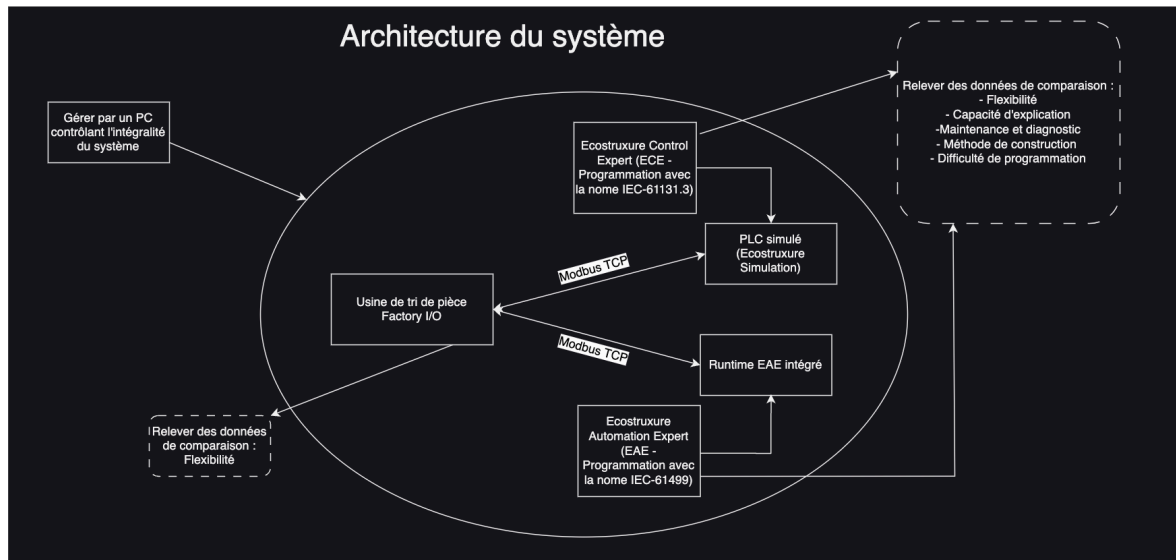
L'usine de tri traite des pièces de trois couleurs (Bleu, Vert, Gris) et les dirige vers trois sorties distinctes via des aiguilleurs (Sorters). Le système fonctionne selon le principe suivant :

1. Détection de la présence d'une pièce sur le convoyeur d'entrée
2. Identification de la couleur par le capteur de vision (valeurs 1-9)
3. Activation de l'aiguilleur correspondant à la couleur détectée
4. Comptage et évacuation de la pièce vers la sortie appropriée
5. Gestion des cas particuliers : pièces consécutives de même couleur, arrêt d'urgence, reset



4.2 Architecture logicielle

L'architecture repose sur un environnement de simulation entièrement virtuel permettant de comparer les deux approches. Factory I/O simule l'usine physique et communique via Modbus TCP avec les automates simulés (EcoStruxure Simulation pour IEC 61131-3, Runtime EAE pour IEC 61499).



Une différence notable existe dans la configuration Modbus : en IEC 61131-3, Factory I/O agit en client et l'automate en serveur, tandis qu'en IEC 61499, les rôles sont inversés en raison des contraintes du SoftDpac.

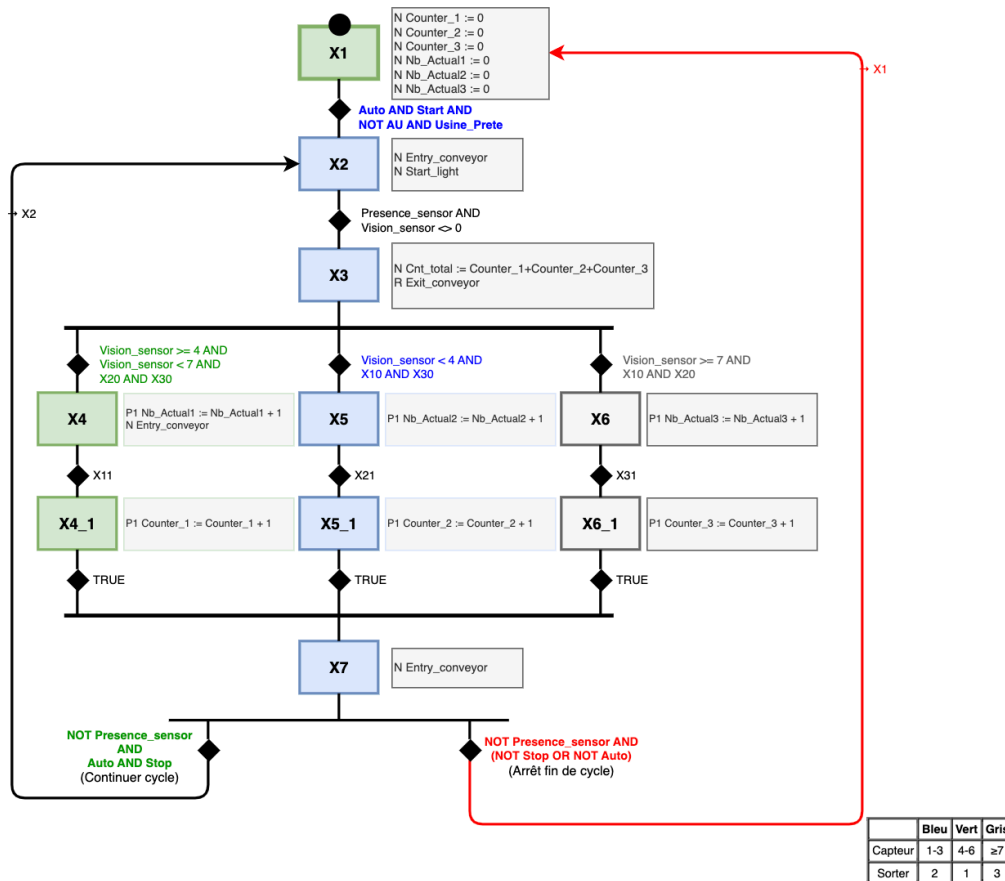
4.3 Traduction GRAFCET

Le GRAFCET G7 constitue le modèle de référence commun aux deux implémentations. La traduction diffère selon la norme :

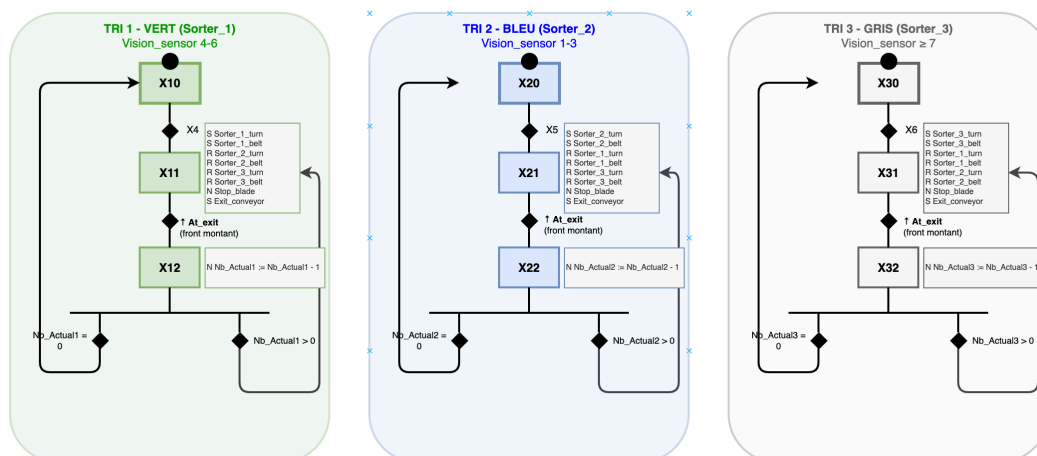
Concept GRAFCET	Équivalent IEC 61131-3	Équivalent IEC 61499
Étape	Étape SFC	État dans le diagramme ECC
Transition	Transition SFC	Événement + Condition
Action	Action associée (N, P, D...)	Algorithme dans l'état
Sous-GRAFCET parallèle	Divergence/Convergence ET	Function Block séparé (EQUIP_Sorter)
Synchronisation	Liaison SFC	Connexions événementielles (BLOCK/UNBLOCK)

Pour la norme IEC 61131-3 nous utiliserons ce grafcet pour programmer l'usine de tri.

GRAFCET Niveau 2 : G7 Principal - UsineDeTri (ECE)

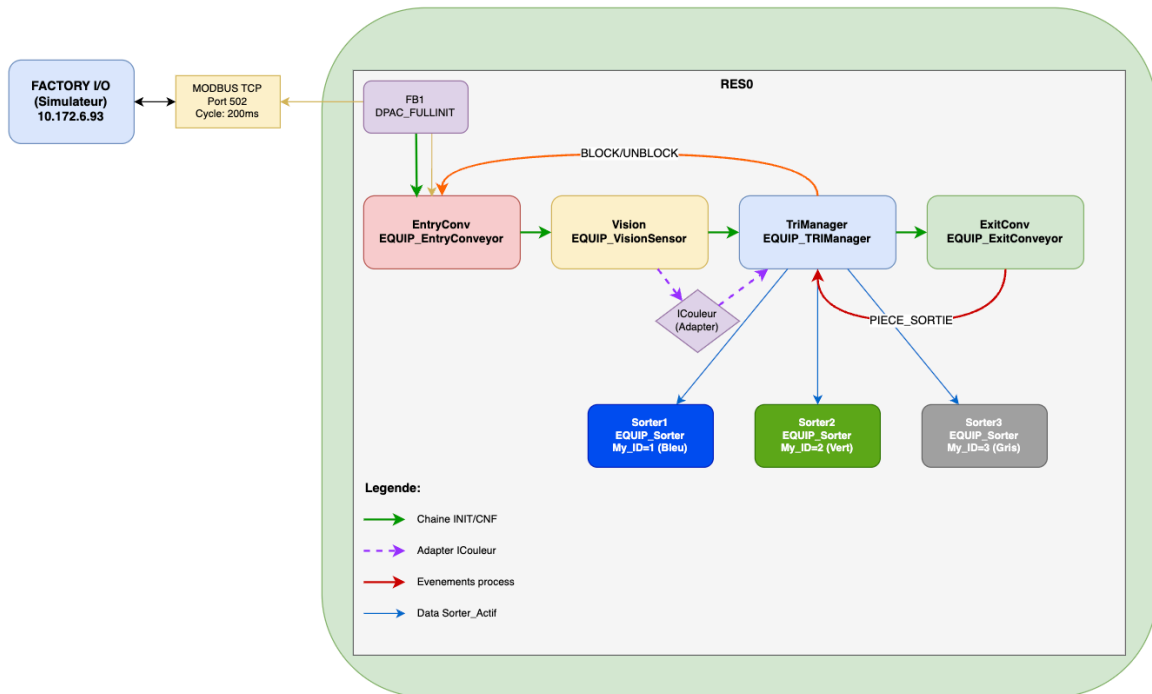


GRAFCET Niveau 2 : Sous-GRAFCET de Tri (G7 Tri)
3 grafjets parallèles pour le tri des pièces



Tandis que pour la norme IEC 61499 nous avons utilisé le grafcet ci-dessus pour réaliser un schéma qui nous permettra de nous aider à programmer sous EAE.

ARCHITECTURE GENERALE - USINE DE TRI IEC 61499

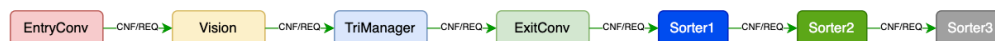


FLUX D'EVENEMENTS - CHAINE D'EXECUTION

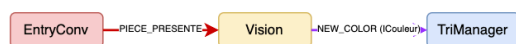
1. CHAINE D'INITIALISATION (INIT)



2. CHAINE CYCLIQUE (REQ/CNF)



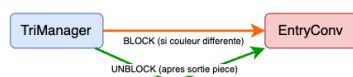
3. DETECTION PIECE



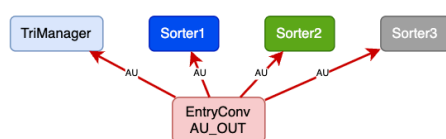
4. SORTIE PIECE



5. BLOCAGE/DEBLOCAGE



6. ARRET D'URGENCE



5 Résultats comparatifs

5.1 Synthèse de la comparaison

La comparaison a été réalisée selon les cinq critères définis dans les spécifications. Le tableau suivant présente les scores obtenus sur une échelle de 1 à 25 points par critère :

Critère	IEC 61131-3 (ECE)	IEC 61499 (EAE)	Avantage	Score 61131	Score 61499	Commentaire
1. Difficulté de programmation	SFC natif, documentation abondante, prise en main rapide	Courbe d'apprentissage importante, peu de doc, mais logique événementielle pertinente	61131	20	13	Condition ET difficile en événementiel (défaut pièces bleues)
2. Méthode de construction	Transposition GRAFCET → SFC directe et naturelle	Approche différente mais méthodologie établie (décomposition modulaire)	61131	20	14	Le SFC est littéralement un GRAFCET exécutable
3. Maintenance et diagnostic	Outils matures, messages clairs, 30 ans d'expérience	Diagnostic explicite et guidé, traçabilité événements native	61131	19	18	Quasi-égalité, EAE progresse
4. Capacité d'explication	SFC graphique très clair, facile à enseigner (GRAFCET connu)	Architecture hiérarchique claire, interfaces auto-documentées, plus abstrait	61131	17	18	61131 plus accessible, 61499 mieux structuré
5. Flexibilité	Modifications dispersées, réutilisabilité limitée	Très flexible Équipements réutilisables, duplication logique usine simple	61499	10	20	POINT FORT MAJEUR de 61499 : modularité et réutilisabilité
SCORE TOTAL				86	83	

5.2 Analyse détaillée par critère

Critère 1 : Difficulté de programmation

L'IEC 61131-3 présente un avantage significatif (+7 points) grâce au SFC natif qui permet une transposition directe du GRAFCET, une documentation abondante et une prise en main rapide. L'IEC 61499 souffre d'une courbe d'apprentissage importante et d'un manque de documentation, bien que la logique événementielle devienne pertinente une fois maîtrisée.

Point critique identifié : La gestion des conditions ET est complexe en IEC 61499. Dans le cas des pièces bleues consécutives, une simple condition ET en IEC 61131-3 nécessite une logique événementielle élaborée en IEC 61499, ce qui constitue une difficulté majeure pour les développeurs habitués au GRAFCET.

Critère 2 : Méthode de construction

La transposition GRAFCET vers SFC est directe et naturelle en IEC 61131-3, où chaque étape GRAFCET correspond à une étape SFC. En IEC 61499, la traduction nécessite une réflexion sur la modularisation et la décomposition en blocs fonctionnels, ce qui ajoute une étape de conception.

Critère 3 : Maintenance et diagnostic

Les deux normes offrent des capacités de diagnostic comparables. L'IEC 61131-3 bénéficie de 30 ans de maturité et d'outils de debug éprouvés. L'IEC 61499 offre une traçabilité native des événements qui facilite la compréhension des séquences passées.

Critère 4 : Capacité d'explication

L'IEC 61499 présente un léger avantage grâce à son architecture hiérarchique naturelle (System→Device→Resource→Application) et ses interfaces auto-documentées. Cependant, l'IEC 61131-3 reste plus facile à enseigner car basé sur le GRAFCET universellement enseigné.

Critère 5 : Flexibilité

C'est le critère où l'IEC 61499 excelle (+10 points). La notion d'équipements réutilisables est remarquable : pour ajouter un 4ème type de pièce, il suffit de dupliquer l'EQUIP_Sorter avec un nouvel ID. Les composites sont portables entre projets et contrôleurs. Cette modularité constitue l'argument majeur en faveur de l'IEC 61499 pour les projets à long terme nécessitant évolutivité et réutilisabilité.

6 Bilan financier

6.1 Budget prévisionnel

Le budget initial du projet a été établi dans la Fiche d'Ouverture de Projet (FOP) selon la structure suivante :

Poste	Détail	Montant (€)
Prestations intellectuelles	Chef de projet - 120h x 68€/h	8 160 €
Formations	Formation EAE + IEC61499	2 480 €
Licences logicielles	EAE + ECE + Factory IO	2 000 €
Plateforme informatique	7% du budget	571 €
Analyse des risques	10% provision	816 €
Total budget interne		13 211 €
Marge prévisionnelle		816 €
Prix de vente		14 027 €

6.2 Bilan des charges réalisées

Le suivi mensuel des charges montre une maîtrise globale du budget avec un écart de charge final de +3 heures par rapport au prévisionnel (123h réalisées vs 120h prévues), ce qui représente un dépassement de seulement 2,5% et donc une bonne performance de pilotage. Le coût réel final s'élève à 8 364 € pour 123 heures travaillées, soit un taux d'avancement de 100% et un projet livré dans les temps.

7 Prise de recul sur le projet

7.1 Points positifs

- Découverte approfondie de la norme IEC 61499 : Ce projet a permis d'acquérir une expertise réelle sur une technologie d'avenir peu documentée. La création d'un document méthodologique constitue une contribution pédagogique significative.
- Maîtrise de deux environnements professionnels : L'utilisation d'EcoStruxure Control Expert et Automation Expert représente une compétence valorisable dans le monde industriel Schneider Electric.
- Méthodologie de comparaison structurée : Les critères de comparaison définis et le tableau d'évaluation produit peuvent être réutilisés pour d'autres projets de benchmark technologique.
- Gestion de projet rigoureuse : Le suivi SPER, l'analyse des risques et le respect du planning démontrent des compétences en management de projet technique.

7.2 Points critiques et difficultés rencontrées

- Manque de documentation IEC 61499 : Le principal obstacle a été le manque cruel de ressources pédagogiques sur EAE et la norme IEC 61499. Beaucoup de temps a été perdu en tâtonnements et recherches, sans trouver d'exemples concrets ou de tutoriels adaptés à notre cas d'usage.
- Refonte complète de l'approche de programmation : Au début du développement EAE, j'ai adopté une approche trop proche de la logique séquentielle IEC 61131-3, sans exploiter la vision orientée objet que requiert la norme IEC 61499. Grâce aux conseils de Stéphane LECASSE (Université de Reims), qui m'a guidé sur la bonne orientation à donner à ma conception et m'a partagé des astuces de programmation spécifiques à EAE, j'ai dû recommencer entièrement le développement. Cette reprise m'a permis de comprendre et d'exploiter correctement la modularité et la réutilisabilité des blocs fonctionnels, qui constituent la vraie force de l'IEC 61499. Ce recommencement explique en grande partie le dépassement de +21 heures sur la tâche de programmation EAE (34h réalisées vs 13h prévues).

- Complexité de la logique événementielle : La traduction des conditions combinatoires (ET logique) en événements reste un défi majeur. Le cas des pièces bleues consécutives n'a pas pu être résolu de manière satisfaisante : lorsque deux pièces bleues arrivent à la suite, le système se bloque et nécessite une intervention manuelle (forçage du signal FD - Front Descendant) pour relancer le processus de tri.
- Programme partiellement fonctionnel : Face aux contraintes de temps, j'ai dû arrêter le développement avant d'atteindre un fonctionnement complet. Le programme EAE actuel est partiellement fonctionnel : il gère correctement le tri des pièces vertes et grises, mais présente toujours le bug sur les pièces bleues consécutives qui bloque le système.
- Configuration Modbus différenciée : L'inversion des rôles client/serveur entre les deux environnements a nécessité une adaptation non triviale de la scène Factory I/O, avec deux configurations Modbus distinctes à maintenir.
- Temps de développement EAE : Au final, le développement sous EAE a pris près de trois fois plus de temps que sous ECE (34h vs 7h), en raison de la courbe d'apprentissage, de la refonte de l'approche et des difficultés techniques non résolues.

8 Impact environnemental

8.1 Impact direct du projet

- Consommation électrique : Le développement sur un seul PC de travail limite l'empreinte carbone. L'utilisation de la simulation évite la consommation d'une installation physique.
- Pas de matériel dédié : Aucun automate physique n'a été utilisé, les simulations logicielles (EcoStruxure Simulation, Runtime EAE) remplaçant le matériel.
- Communication à distance : Les réunions en visioconférence (Teams) ont limité les déplacements entre Tours et Reims.

8.2 Perspectives pour l'industrie

L'adoption de la norme IEC 61499 pourrait avoir des impacts environnementaux positifs à l'échelle industrielle :

- Réutilisabilité des composants : La modularité permet de réutiliser les blocs fonctionnels entre projets, réduisant l'effort de développement et la consommation de ressources.
- Distribution de l'intelligence : L'approche distribuée permet d'optimiser les ressources en n'activant que les contrôleurs nécessaires.
- Interopérabilité : Le standard ouvert Universal Automation réduit le lock-in constructeur et prolonge la durée de vie des installations.

Conclusion

Ce projet a permis de réaliser une comparaison objective et documentée entre les normes IEC 61131-3 et IEC 61499 sur un cas concret d'automatisation. Les résultats montrent que l'IEC 61131-3 conserve un avantage global (86 vs 83 points) grâce à sa maturité, sa documentation abondante et la transposition naturelle du GRAFCET vers le SFC. Cependant, l'IEC 61499 se distingue nettement sur la flexibilité et la réutilisabilité (20 vs 10 points), confirmant son potentiel pour les projets nécessitant modularité et évolutivité.

La contribution majeure de ce PRI est la documentation méthodologique produite, qui pourra servir de base pédagogique pour les futurs étudiants de Polytech Tours et de l'Université de Reims souhaitant aborder l'IEC 61499.

Travaux restants à réaliser :

Tâche	Priorité	Description
Résoudre le bug des pièces bleues	Haute	Corriger la gestion des événements pour les pièces bleues consécutives sans intervention manuelle (FD)
Finaliser le programme EAE	Haute	Atteindre un fonctionnement 100% automatique équivalent au programme ECE
Documenter les solutions	Moyenne	Compléter le guide méthodologique avec les solutions aux problèmes rencontrés
Tests de robustesse	Basse	Valider le comportement sur des scénarios de stress (flux continu de pièces, arrêts d'urgence répétés)

Le choix entre IEC 61131-3 et IEC 61499 dépend donc du contexte projet : pour des applications simples avec des équipes formées au GRAFCET, l'IEC 61131-3 reste optimal. Pour des projets complexes nécessitant distribution, réutilisabilité et portabilité, l'IEC 61499 offre des avantages significatifs malgré sa courbe d'apprentissage plus exigeante — à condition d'accepter un investissement initial plus important en formation et en temps de développement.

Références documentaires

Documentaire internes du projet

- FOP_PRI_PROJET_IEC61499_V2_0.pdf - Fiche d'Ouverture de Projet
- SPÉCIFICATIONS_PRI_PROJET_IEC61499_V0_2.pdf - Cahier des spécifications
- PLAN_DE_DEVELOPPEMENT_PRI_PROJET_IEC61499_V0_2.pdf - Plan de développement
- DOSSIER_DE_CONCEPTION_GÉNÉRAL_PRI_PROJET_IEC61499_V2.pdf - DCG
- DOSSIER_DE_CONCEPTION_DETAILLE_PRI_PROJET_IEC61499_V2.pdf - DCD
- METHODOLOGIE_PROGRAMMATION_EAE_IEC61499_PROJET_IEC61499_V1.pdf
- COMPARATIF_IEC61131_VS_IEC61499_PROJET_IEC61499_V1.xlsx
- SPER_PRI_PROJET_IEC61499_V1_1.xlsx - Suivi des charges
- INDICATEURS_RISQUES_PRI_PROJET_IEC61499_V1_1.xlsx - Analyse des risques
- G7_NIVEAU2_PRI_PROJET-IEC61499_V0_2.drawio – Grafcet général et grafcet de tri
- SCHEMAS_IEC61499_PRI_PROJET-IEC61499_V0_1.drawio – Schéma relatif à la programmation IEC61499