Cahier des charges technique : Projet PADUS

Activités en ligne de programmation d'objets connectés

Date : Septembre 2026

Table des matières

- Cahier des charges technique : Projet PADUS
  - Activités en ligne de programmation d'objets connectés
  - Table des matières
  - 1. Contexte et objectif du marché
    - 1.1 Contexte
    - 1.2 Objectifs du marché
  - 2. Étendue du marché
  - 3. Cahier des charges fonctionnel
    - 3.1 Plateforme pédagogique en ligne
      - 3.1.1 Gestion de parcours
      - 3.1.2 Gestion des groupes
      - 3.1.3 Suivi et évaluation
    - 3.2 Simulateur d'objets connectés 3D
      - 3.2.1 Simulation physique 3D
      - 3.2.2 Intégration au moteur d'exécution

        - 3.2.3 Support de cartes électroniques
    - 3.3 Éditeur 3D
        - 3.3.1 Fonctionnalités
        - 3.3.2 Simplicité d'utilisation
- 4. Cahier des charges technique
    - 4.1 Architecture générale
        - 4.1.1 Architecture client-serveur
        - 4.1.2 Accessibilité web
        - 4.1.3 API
    - 4.2 Technologies et standards requis
        - 4.2.1 Standards ouverts
        - 4.2.2 Langages de programmation
        - 4.2.3 Sécurité
    - 4.3 Contraintes d'hébergement et de déploiement
        - 4.3.1 Environnement d'hébergement
    - 4.4 Performance et évolutivité
        - 4.4.1 Performance
        - 4.4.2 Évolutivité
- 5. Spécifications par prestation
    - 5.1 Prestation 1 : Plateforme pédagogique
        - 5.1.1 Périmètre

- 5.1.2 Spécifications techniques
- 5.1.3 Livrables
- 5.2 Prestation 2 : Simulateur physique 3D
  - 5.2.1 Périmètre
  - 5.2.2 Spécifications techniques
  - 5.2.3 Livrables
- 5.3 Prestation 3 : Éditeur 3D
  - 5.3.1 Périmètre
  - 5.3.2 Spécifications techniques
  - 5.3.3 Livrables

◦ 6. Livrables attendus
- 6.1 Propriété intellectuelle

◦ 7. Annexes
- Glossaire

1. Contexte et objectif du marché

1.1 Contexte

Le projet vise à développer et héberger un écosystème pédagogique numérique permettant :

- La diffusion de contenus pédagogiques variés à grande échelle
- La gestion de communautés d'apprentissage avec personnalisation des contenus

- La programmation d'objets connectés via un environnement de simulation intégré au navigateur web

- La création d'exercices pratiques sur la programmation d'objets connectés.

Ce système doit pouvoir être déployé en ligne et rendu accessible simultanément à un grand nombre d'utilisateur·rices, dans le cadre d'une démarche d'enseignement à distance.

1.2 Objectifs du marché

Le présent marché a pour objet la sélection d'un prestataire pour :

1. L'hébergement d'une **plateforme pédagogique en ligne** capable d'accueillir un parcours dédié intégrant divers types de contenus pédagogiques

2. Développement d'un **simulateur physique 3D** d'objets connectés, intégré au moteur d'exécution des programmes

3. Développement d'un **éditeur 3D simplifié** permettant de relier des capteurs, actionneurs et microcontrôleurs

Les développements réalisés dans le cadre de ce marché devront être diffusés **sous licence libre**.

2. Étendue du marché

Le marché porte sur les trois prestations décrits ci-après. Le titulaire sera sélectionné sur l'ensemble des prestations :

Prestation	Description
Prestation 1	Hébergement d'une plateforme pédagogique en ligne avec gestion de parcours, de groupes et de suivi d'activité
Prestation 2	Développement d'un simulateur physique 3D d'objets connectés et intégration au moteur d'exécution
Prestation 3	Développement d'un éditeur 3D simplifié pour la création de scènes avec capteurs, actionneurs et microcontrôleurs

3. Cahier des charges fonctionnel

3.1 Plateforme pédagogique en ligne

La plateforme doit permettre la mise à disposition à grande échelle de contenus pédagogiques variés, intégrant la gestion de communautés d'apprentissage et la personnalisation du contenu par ces communautés.

3.1.1 Gestion de parcours

La plateforme doit permettre de créer et gérer des parcours pédagogiques dédiés, au sein desquels peuvent être intégrés :

- **Des quiz de divers types** : choix multiples, questions à réponse ouverte, appariement, vrai/faux, etc.
- **Des activités de programmation en micropython** : exercices pratiques permettant aux apprenants de programmer virtuellement des cartes électroniques
- **Des contenus textuels illustrés** : supports pédagogiques sous forme de documents structurés, avec insertion d'images, de schémas...
- **Des contenus vidéo** : intégration et lecture de vidéos pédagogiques

3.1.2 Gestion des groupes

La plateforme doit intégrer des fonctionnalités de gestion des groupes d'apprenants :

- Création et administration de groupes
- Attribution de membres à des groupes
- Suivi de l'activité collective des groupes
- Espaces de travail collaboratifs par groupe

3.1.3 Suivi et évaluation

- Suivi individualisé de l'avancement des apprenants
- Suivi de l'activité des groupes
- Tableaux de bord pour les formateurs/enseignants
- Système d'évaluation et de certification des acquis

3.2 Simulateur d'objets connectés 3D

Le simulateur doit permettre de simuler dans le navigateur l'exécution de programmes sur des cartes électroniques embarquées, avec une représentation visuelle 3D de l'environnement et des objets connectés.

3.2.1 Simulation physique 3D

Le système doit fournir :

- Une simulation physique 3D simplifiée d'objets connectés
- La modélisation des capteurs (capteurs de lumière, température, mouvement, etc.)
- La modélisation des actionneurs (moteurs, LEDs, écrans, etc.)
- La représentation visuelle en temps réel de l'état des objets et de leur environnement

3.2.2 Intégration au moteur d'exécution

Le simulateur doit être intégré au moteur d'exécution des programmes pour objets connectés, de manière à :

- Simuler la mesure des capteurs en fonction de l'environnement virtuel
- Simuler l'effet des actionneurs sur l'environnement virtuel
- Permettre l'exécution de programmes écrits pour des cartes électroniques réelles dans un environnement virtuel identique

3.2.3 Support de cartes électroniques

Le système doit supporter au minimum :

- Les cartes de type microcontrôleur avec connectique USB
- Les cartes de type ordinateur single-board avec interface GPIO
- Les modules de communication sans fil (Bluetooth Low Energy, Wi-Fi)
-

3.3 Éditeur 3D

L'éditeur 3D doit permettre de créer et configurer des scènes de simulation de manière intuitive.

3.3.1 Fonctionnalités

- Interface de création visuelle par assemblage de blocs
- Bibliothèque de composants prédéfinis (capteurs, actionneurs, structures)
- Système de connexion visuelle entre les composants
- Prévisualisation en temps réel de la scène
- Export et import de scènes

3.3.2 Simplicité d'utilisation

L'éditeur doit être simplifié et intuitif, destiné à un public pédagogique non nécessairement expert en 3D.

4. Cahier des charges technique

4.1 Architecture générale

4.1.1 Architecture client-serveur

Le système doit reposer sur une architecture client-serveur :

- **Côté serveur** : gestion des données, authentification des utilisateurs, exécution des programmes, stockage des contenus pédagogiques, API de communication
- **Côté client** : interface utilisateur web, exécution du simulateur 3D dans le navigateur, éditeur 3D intégré

4.1.2 Accessibilité web

L'ensemble des fonctionnalités doit être accessible via un navigateur web moderne, sans nécessiter l'installation de logiciel supplémentaire du côté client.

4.1.3 API

Le système doit exposer une API RESTful, LTI ou équivalent permettant :

- L'authentification et la gestion des sessions
- La récupération et la soumission des contenus pédagogiques
- La communication avec le simulateur 3D
- L'interopérabilité avec d'autres systèmes (ENT, LMS externes)

4.2 Technologies et standards requis

4.2.1 Standards ouverts

Le prestataire devra privilégier l'utilisation de technologies et standards ouverts :

- Protocoles de communication standards (HTTP/HTTPS, WebSocket)
- Formats de données ouverts (JSON, XML)
- Standards web ouverts (HTML5, WebGL/WebGPU pour la 3D)
- Formats de fichiers ouverts pour les modèles 3D (GLTF/GLB)
- Normes d'accessibilité numérique (RGAA / WCAG).

4.2.2 Langages de programmation

Les programmes écrits par les apprenants pour les objets connectés doivent pouvoir utiliser au minimum :

- Le langage micropython
- Un environnement de développement intégré dans le navigateur (interface textuelle et blocs)

4.2.3 Sécurité

- Authentification sécurisée des utilisateurs
- Gestion des rôles et des permissions
- Protection contre les injections et attaques courantes (XSS, CSRF)

- Chiffrement des données en transit (TLS)

- Hébergement des données conforme au RGPD

4.3 Contraintes d'hébergement et de déploiement

4.3.1 Environnement d'hébergement

Le prestataire devra préciser :

- Les solutions d'hébergement proposées (cloud public, cloud privé, infrastructure propre)

- La localisation géographique des données

- Les mécanismes de sauvegarde et de reprise après incident

- Les SLA proposés en termes de disponibilité

4.4 Performance et évolutivité

4.4.1 Performance

Le système doit garantir :

- Une simulation 3D fluide avec un framerate fluide (~30 images/s) sur des configurations matérielles standards en 2026

- Une exécution des programmes simulés en temps réel ou quasi temps réel

4.4.2 Évolutivité

L'architecture doit permettre :

- La montée en charge horizontale

- L'ajout de nouveaux types de capteurs et actionneurs sans modification profonde de l'architecture

- L'ajout de nouveaux contenus pédagogiques

5. Spécifications par prestation

5.1 Prestation 1 : Plateforme pédagogique

5.1.1 Périmètre

Développement ou adaptation d'une plateforme de gestion de l'apprentissage (LMS) permettant :

- La création et la gestion de parcours pédagogiques
- L'intégration de contenus multimédias variés
- La gestion des utilisateurs, des groupes et des rôles
- Le suivi de l'activité et des progrès des apprenant·es
- Des fonctionnalités collaboratives type forums

5.1.2 Spécifications techniques

- Application web responsive, compatible navigateurs modernes
- Base de données relationnelle
- API backend documentée
- Système d'authentification compatible avec les identifiants institutionnels (LTI, SAML, OAuth2...)
- Interface d'administration pour la gestion des parcours et des utilisateurs

5.1.3 Livrables

- Code source complet du backend et du frontend
- Documentation technique
- Documentation utilisateur

- Scripts de déploiement
- Manuel d'utilisation

5.2 Prestation 2 : Simulateur physique 3D

5.2.1 Périmètre

Développement d'un moteur de simulation 3D intégré au navigateur, permettant :

- La modélisation physique simplifiée d'objets connectés
- La simulation des capteurs et actionneurs
- L'intégration avec le moteur d'exécution des programmes
- La mesure des capteurs en fonction de l'environnement virtuel
- L'effet des actionneurs sur l'environnement virtuel.

5.2.2 Spécifications techniques

- Moteur de rendu 3D fonctionnant dans le navigateur (WebGL/WebGPU)
- Moteur de physique simplifié adapté à la simulation d'objets connectés
- Intégration avec un interpréteur/exécuteur de programmes pour objets connectés
- Système de coordonnées et de repères pour la modélisation 3D
- Gestion des événements et des interactions en temps réel

5.2.3 Livrables

- Code source complet du simulateur
- Bibliothèque de composants 3D prédéfinis (au minimum : cartes électroniques, LEDs, moteurs, capteurs de base)

- Documentation technique
- Exemples de scènes de simulation
- Manuel d'intégration

5.3 Prestation 3 : Éditeur 3D

5.3.1 Périmètre

Développement d'un éditeur visuel 3D permettant :

- La création de scènes de simulation par assemblage de composants
- La connexion visuelle entre capteurs, actionneurs et structures
- La prévisualisation en temps réel
- L'export et l'import de scènes

5.3.2 Spécifications techniques

- Application web fonctionnant dans le navigateur
- Interface de type « blocs » pour la connexion des composants
- Visualisation 3D en temps réel
- Système de drag-and-drop pour l'ajout de composants
- Bibliothèque de composants intégrée
- Export au format standard (JSON ou équivalent)

5.3.3 Livrables

- Code source complet de l'éditeur
- Bibliothèque de composants 3D (complémentaire au Prestation 2)

- Documentation technique
- Tutoriels de prise en main
- Manuel utilisateur.

p6. Livrables attendus

Le prestataire devra fournir les livrables suivants :

Phase	Livrables
Cahier des charges technique	Analyse détaillée des besoins, architecture technique retenue, planning prévisionnel
Développement	Code source commenté, documentation technique, tests unitaires
Production	Documentation utilisateur, support en vidéoconférence (si besoin)

L'intégralité des livrables est attendu **avant la fin mai 2027**.

6.1 Propriété intellectuelle

Les développements réalisés dans le cadre de ce marché devront être diffusés publiquement sous licence ouverte (à définir par le prestataire), permettant leur réutilisation par toute personne physique ou morale dans les conditions définies par la licence choisie.

7. Annexes

Glossaire

Terme	Définition
LMS	Learning Management System – Système de gestion de l'apprentissage
Objet connecté	Dispositif électronique intégrant des capacités de calcul, de communication et d'interaction avec son environnement
Capteur	Dispositif mesurant une grandeur physique et la convertissant en signal exploitable
Actionneur	Dispositif actionné par un signal électrique et produisant une action sur son environnement
Carte électronique	Circuit imprimé contenant les composants électroniques nécessaires au fonctionnement d'un système embarqué
Simulation 3D	Reproduction virtuelle en trois dimensions d'objets et de phénomènes physiques
RGAA	Référentiel Général d'Amélioration de l'Accessibilité
RGPD	Règlement Général sur la Protection des Données