

Culture Sciences de l'Ingénieur

<https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>



Journées pédagogiques
de la revue 3EI et du DER Nikola Tesla :

Réflexions sur les formations génie électrique et
science de l'information

Jeudi 23 et vendredi 24 juin 2022

Présentation de la conférence :

Enseignement MOOC- STEEVE

par François LOUF et Javier OJEDA

Les présentations de ces journées se retrouvent sur :

<https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/actualites/journees-3ei-der-nikola-tesla>



école — normale — supérieure — paris–saclay —

L'hybridation en TP et la plateforme STEEVE
Solutions pour Travaux Expérimentaux en Environnement Virtualisé

Journées pédagogiques de la revue 3EI et du DER Nikola TESLA

F. Louf - J. Ojeda
23 juin 2022

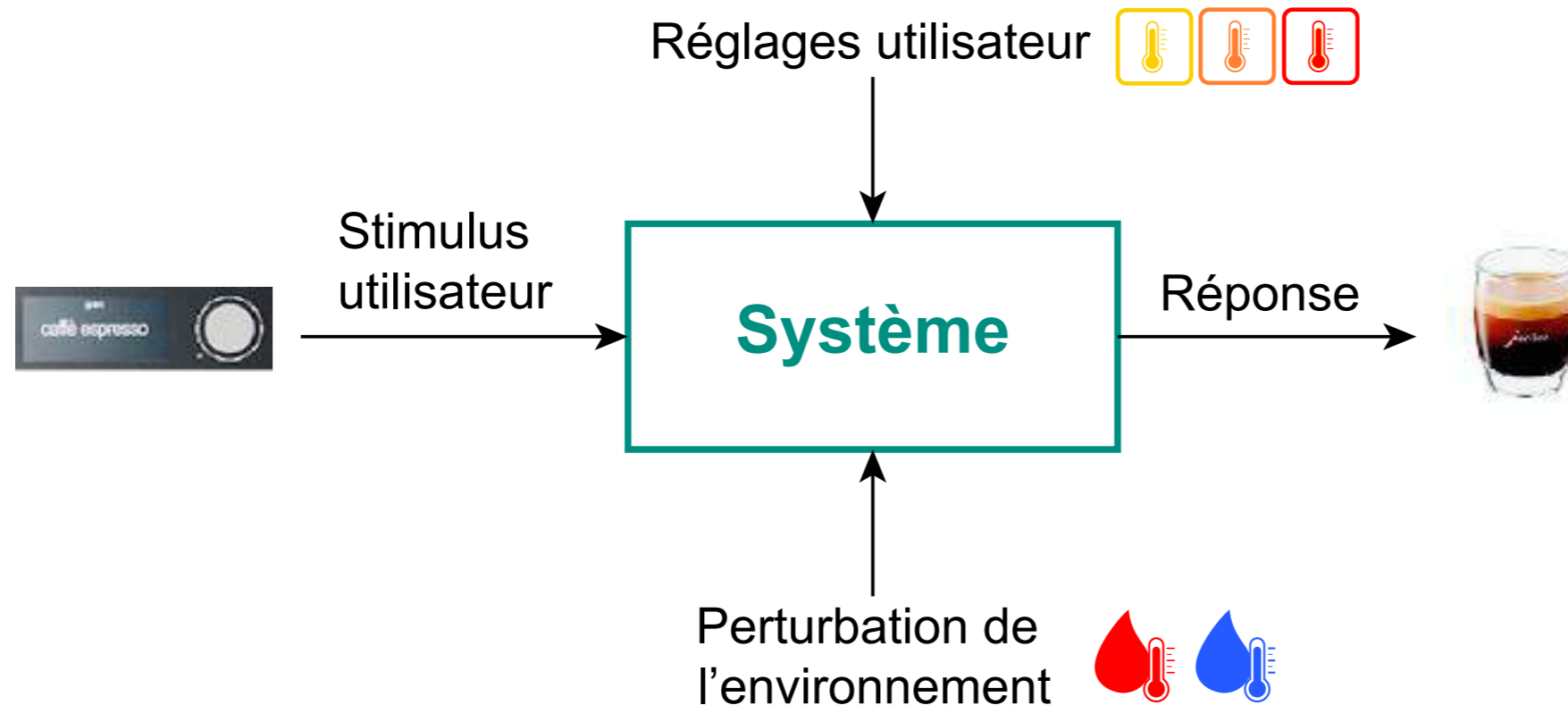


Projet STEEVE

Les TP, les objectifs, le concept

Un exemple commun de « système » utilisé comme support de TP

- Pourrait être aussi une machine frigo, une machine électrique, une structure en béton précontraint, ou tout autre sous-système...

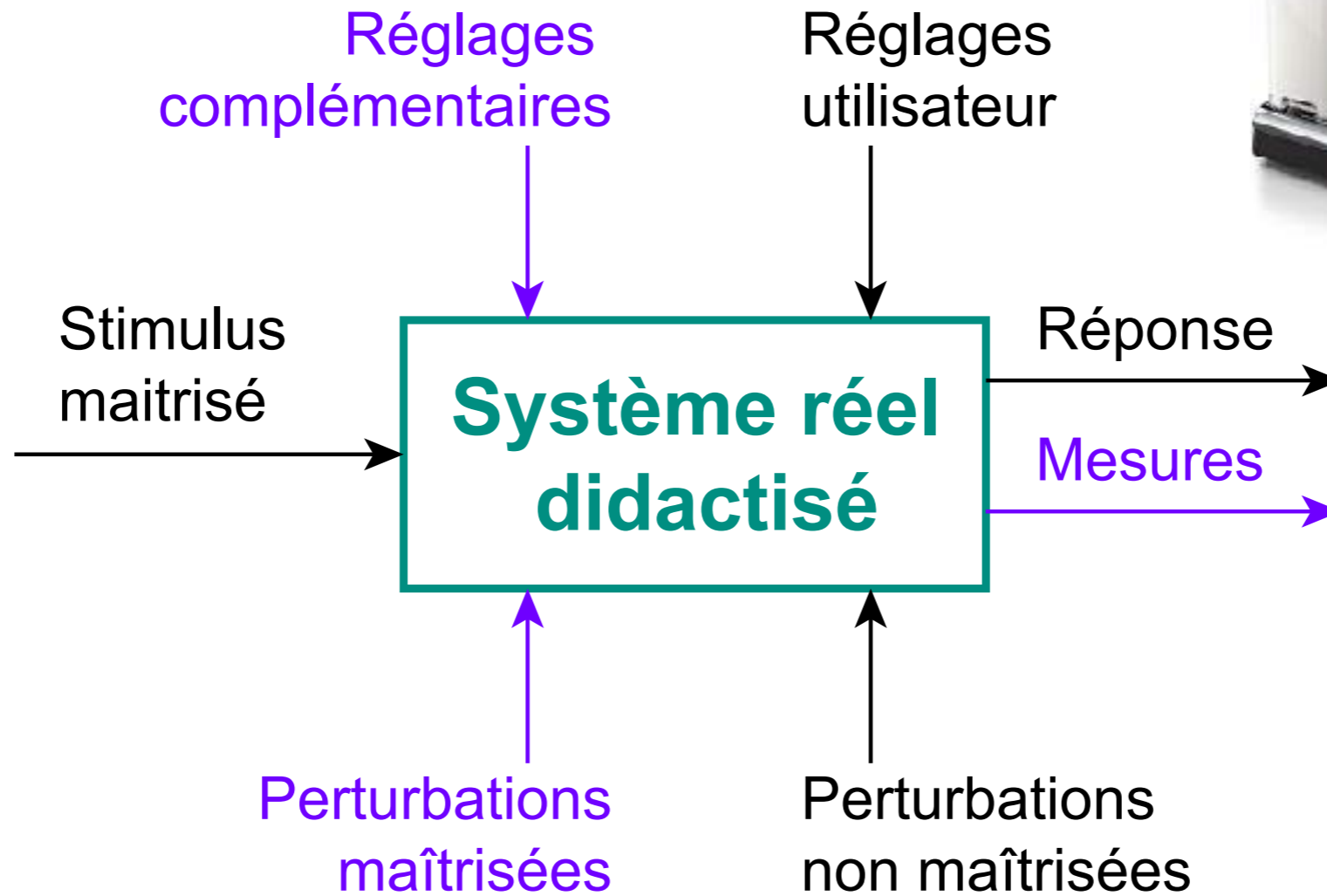


Les confrontations aux cas concrets via les TP sont l'occasion

- De mobiliser ces connaissances
- De développer les compétences d'analyse, d'expérimentation, de modélisation, de résolution de problèmes (analytique, numérique...)

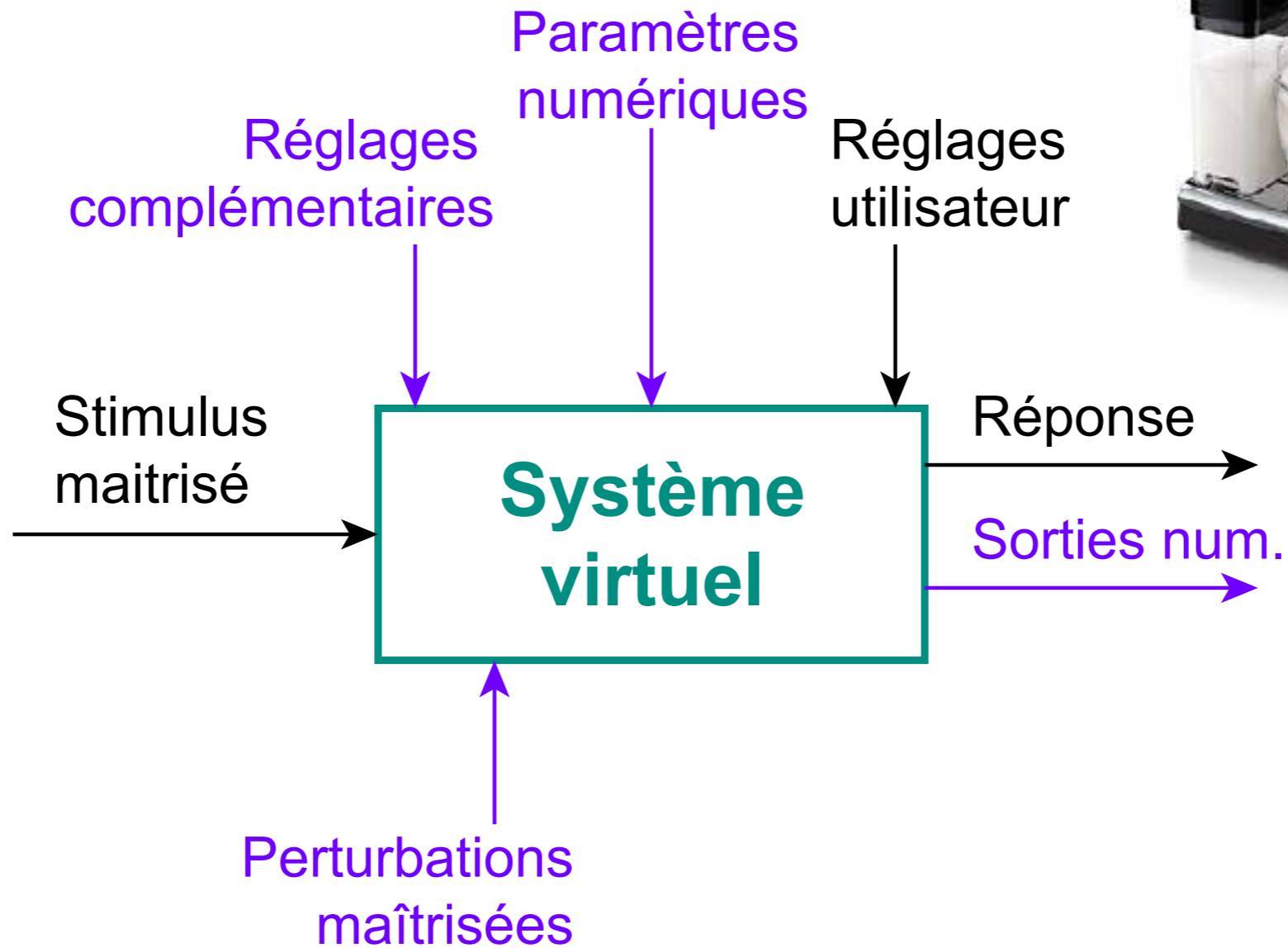
 **Activités pratiques sur des systèmes réels didactisés**

➤ ou sur un sous-système instrumenté...



Activités pratiques sur des systèmes virtuels

- Jumeau du système réel ou d'un sous-système



 **Constat : importance des TP dans les formations de SPI**

 **Quelques "limites"**

- Pas adapté à la formation à distance
 - Qu'elle soit souhaitée, ... ou contrainte (confinement)
- Le coût peut être important
 - Matériel souvent cher à l'achat
 - Entretien, maintenances, licences sont à la charge d'un seul établissement
- Peu de flexibilité
 - Le matériel est installé dans une salle dédié, avec un accès contrôlé
 - Temps d'usage pas optimal
 - Pour l'enseignant
 - Difficile de mixer expérimentation et apport théorique dans une même séance
 - Pour l'étudiant
 - Pas d'accès aux ressources en dehors de créneaux
 - Finalisation des comptes-rendus de TP sans accès aux ressources



Idée : rendre possible l'accès à des ressources « systèmes » à distance

- L'idée n'est pas de remplacer pleinement le TP en présentiel...
- Ne s'applique pas aux TP où le savoir-faire technique est prépondérant

La solution imaginée :

- Une application web dédiée unifiée pour tout type d'expérience
- Des expériences distantes de trois types
 - Base de données : on capitalise des mesures sur des systèmes existants [asynchrone]
 - Logiciel : permet de réaliser des expériences numériques [synchrone, virtuel]
 - Robotisées : le système pluri-techniques est stimulé à distance [synchrone]

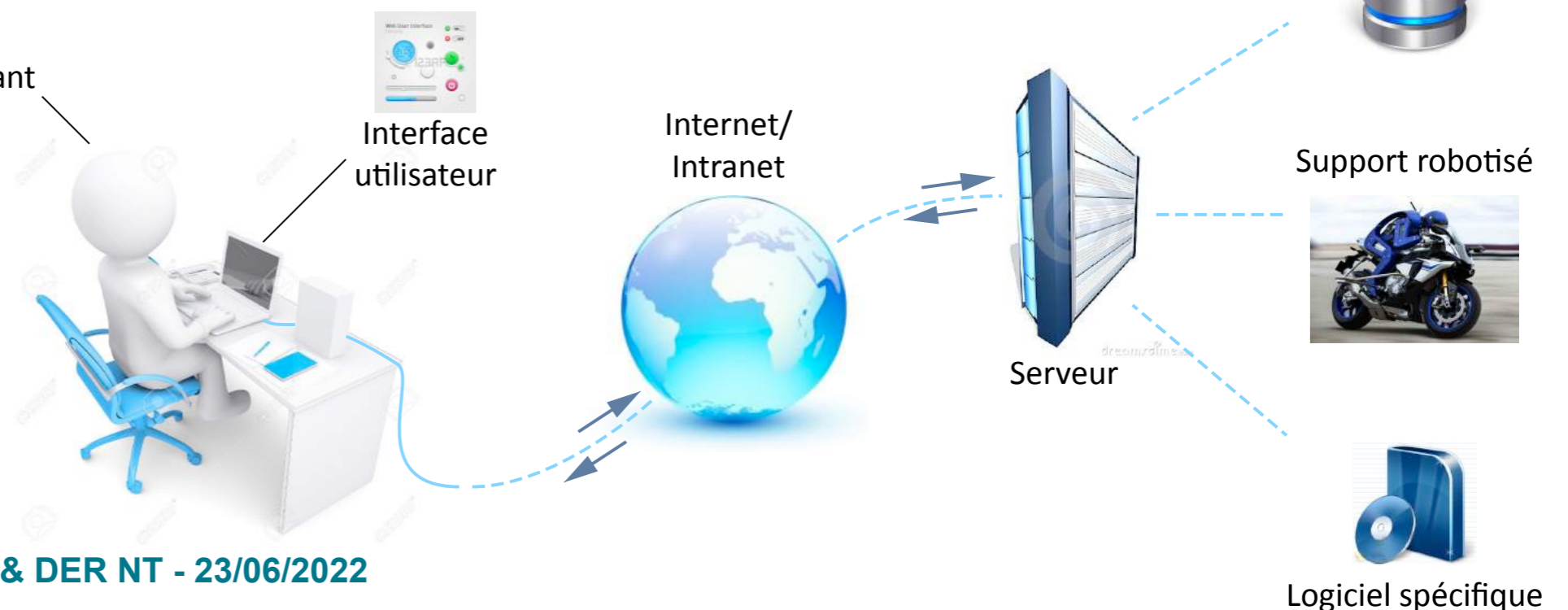
STEEVÉ

université
PARIS-SACLAY

Appel à projets
« Osez ! » 2017

Journées pédagogiques 3EI & DER NT - 23/06/2022

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE PARIS-SACLAY



Projet STEEVE

Aperçu de l'interface web

👤 Fonctionnalités

- Page de connexion à l'outil STEEVE envoie vers la page d'accueil :

*Lien vers la liste
des expériences
numériques*

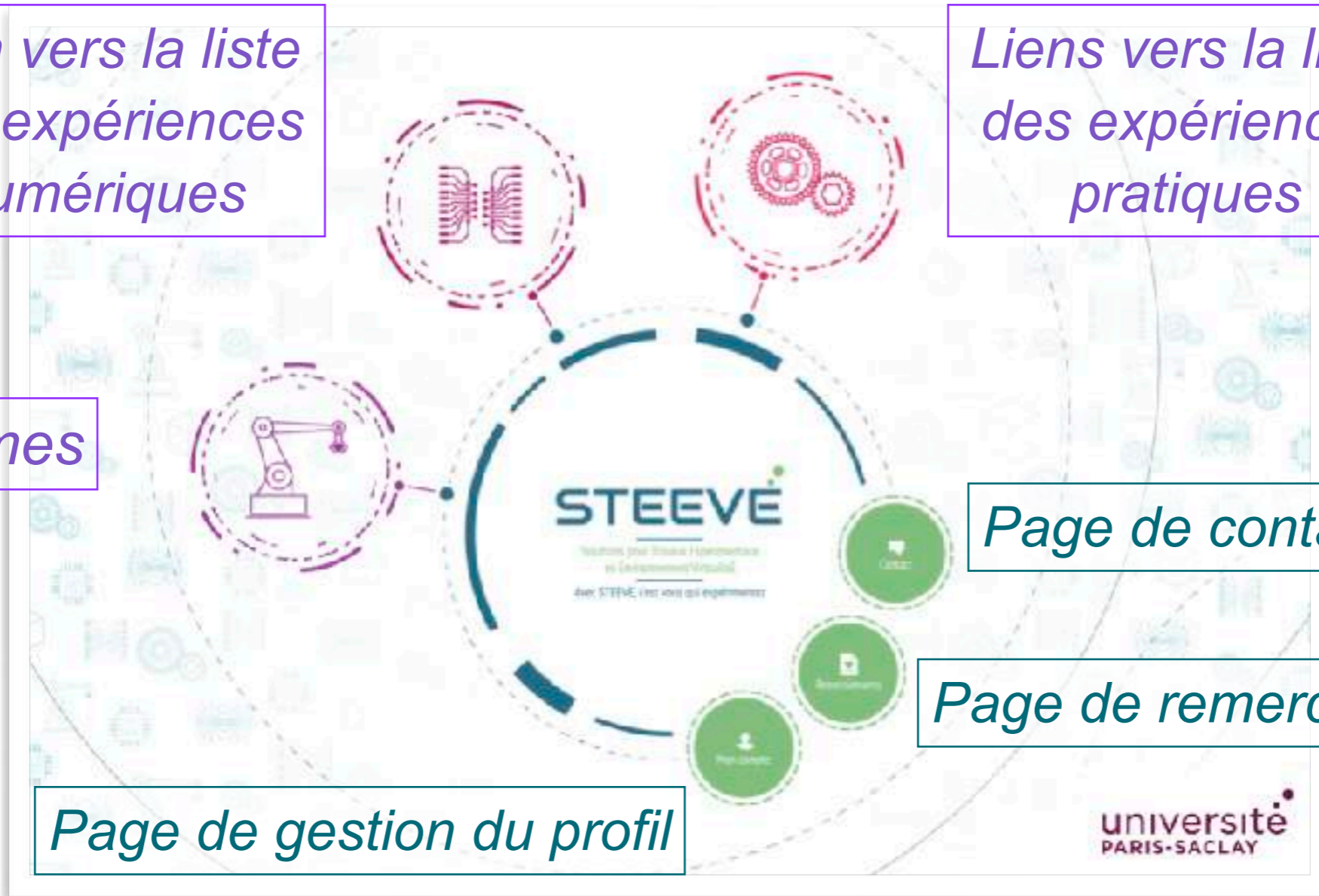
*Liens vers la liste
des expériences
pratiques*

Systemes

Page de contact

Page de remerciements

Page de gestion du profil



👤 Fonctionnalités

➤ Page de présentation d'une expérience

DIMENSIONNEMENT ÉLÉMENTS FINIS D'UN CAPTEUR DE PUISSANCE UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY EXPÉRIENCE NUMÉRIQUE

Système

Capteur de puissance pour vélo

La support décrit est un capteur permettant à un cycliste de connaître en temps réel la puissance qu'il développe durant un entraînement. La mesure de puissance est basée sur la mesure d'une quantité cinématique, la vitesse de rotation du pédalier, et d'une quantité statique, le couple transmittant dans celui-ci. Pour mesurer ce couple, la partie centrale du pédalier classique est remplacée par un corps d'axeux dont les articulations avec le balancier de pédalier et les plateaux entraînant la chaîne sont identiques à celles des pédaliers classiques. Comme de nombreux capteurs d'effort, le corps d'axeux est composé de zones rigides et des zones d'élasticité sur lesquelles sont placés des jauges de déformations. Sur le système étudié, elles sont au nombre de 8 et sont bristées en deux ponts complets. La moyenne des déformations mesurées sur ces deux ponts donne une valeur de tension.

Expérience

Dimensionnement éléments finis d'un capteur de puissance

On souhaite dimensionner par éléments finis un capteur de puissance pour vélo. Le capteur est intégré au pédalier.

J'EXPÉRIMENTE !

Lancement de l'activité

COMPTER PÉDALES

Fonctionnalités

- Page de lancement d'une expérience

J'EXPÉRIENTE !

Paramètres destinés

Choix des paramètres (protocole)

LANCER L'EXPÉRIENCE !

Lancement de l'activité distante

EXPÉRIENCES LIÉES AU SYSTÈME

Lien vers les autres expériences liées au même système

Estimation par éléments finis de la sensibilité d'un capteur de puissance

Etalonnage d'un capteur de puissance

Réglages complémentaires

Réglages utilisateur

Stimulus maîtrisé

Perturbations maîtrisées

Perturbations non maîtrisées

Système réel didactisé

Réponse

Mesures

Fonctionnalités

- Page de récupération des résultats de l'expérience

The screenshot shows a web interface with several sections:

- Buttons:** "Changer les paramètres de mon équipement", "Contacter le support", and "Supprimer ce résultat".
- Paramètres:** A list of parameters including "Effort appliqué sur la poutre (N: 1000)", "Rayon sur lequel est engrené la chaîne (mm): 95", "Position angulaire du pédales (deg): 0", "Maillage optimisé (Pa):", "Type d'élément: Linéaire", and "Taille de maille (mm): 2".
- Documents:** A list containing "Rapport de simulation" with a download icon.
- Vidéo de l'expérience:** A 3D visualization of a mechanical part with a color-coded stress field. A legend on the right shows values from 0.0 to 4.81E-02.

Annotations in purple boxes highlight key features:

- "Possibilité de relancer une activité similaire" (top right)
- "Rappel du protocole expérimental" (middle right)
- "(PDF, TXT, CSV, ...)" (bottom left)
- "Vidéo de L'expérience" (bottom right)

A flowchart at the bottom illustrates the system's interaction:

- Inputs:** "Stimulus maîtrisé", "Paramètres numériques", "Réglages complémentaires", "Réglages utilisateur", "Perturbations maîtrisées", and "Perturbations non maîtrisées".
- System:** "Système virtuel".
- Outputs:** "Réponse" and "Sorties num.".

Fonctionnalités

- Page de création d'une expérience : préliminaires

STEEVÉ Systèmes Serveurs Expériences Administration Public François LOUF

EXPÉRIENCES Ajouter une expérience Liste des expériences

Caractéristiques

Nom de l'expérience

Système

Type d'expérience

Description

+ Ajouter une image

Exécution

Serveur

Nom du script

Mémoire requise

Mo

Temps d'exécution

secondes

Publication

Publiée

Oui

Enregistrer l'expérience

Paramètres

+ Ajouter un paramètre

Enregistrer l'expérience

Retour

Renseignements
sur l'activité (visible)

Informations
techniques
(Cachées)

Paramétrage :
définition du
formulaire

Publication ?

Fonctionnalités

- Page de création d'une expérience : paramétrage

Nom du paramètre

Entrefer

Libellé, description paramètre

Nom système

e

Type de paramètre

Nombre

Unité

mm

Variable, type et unité

Description

Distance minimale entre rotor et stator

Caractéristiques pour le type Nombre

Valeur minimale

0.5

Valeur maximale

5

Définition du domaine de variation du paramètre

Incrément

0.05

Valeur par défaut

0.5

Dépendances

Création d'un paramètre dépendant

+ Ajouter une dépendance

Projet STEEVE

Construction des expériences distantes

Principe

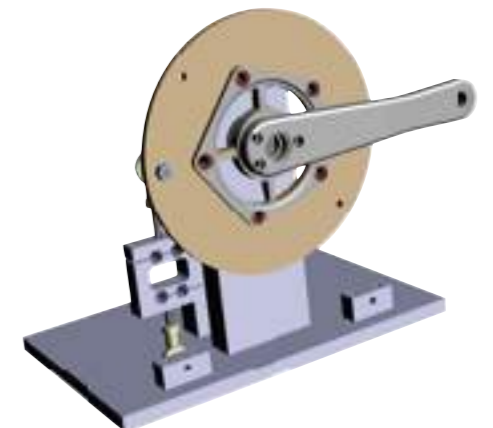
- Acquisition d'une information expérimentale riche par l'enseignement une fois pour toutes
 - Exploration fine de l'espace des paramètres et extraction des quantités mesurables associées
- Capitalisation de ces informations dans une base de données

Exploitation par l'élève

- L'élève propose de faire varier telle ou telle quantité pour identifier un comportement, mettre en évidence un phénomène
- Il utilise l'expérience distante pour extraire les données expérimentales associées
- Il traite les données reçues souvent sous forme de tableau de valeurs
- Il conclut sur la base des résultats traités

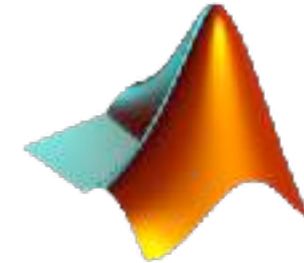
Quelques réalisations

- Pilote hydraulique (CREA Technologie)
- Cordeuse (DMS)
- Comportement de systèmes déformables (extensométrie)
 - Boulon précontraint, anneau dynamométrique, flexion-torsion
 - capteur de pesée, capteur de puissance pour vélo, structure treillis



Principe

- Développer un modèle paramétré représentatif du système étudié
 - Modèle Simulink / Multiphysique
 - Modèle éléments finis
 - Modèle de comportement python (méthode de résolution)
- Exemple de paramétrage
 - Géométrie, conditions aux limites, comportement, commande...



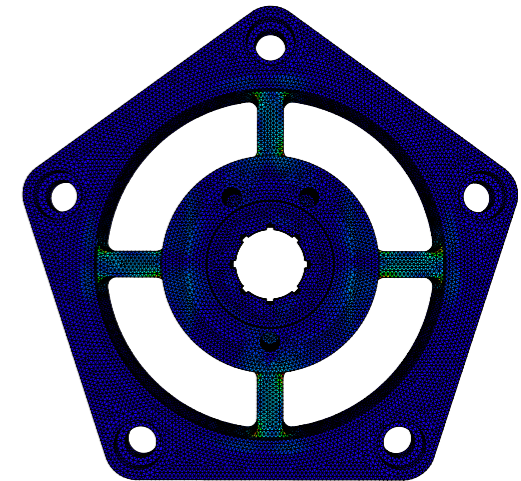
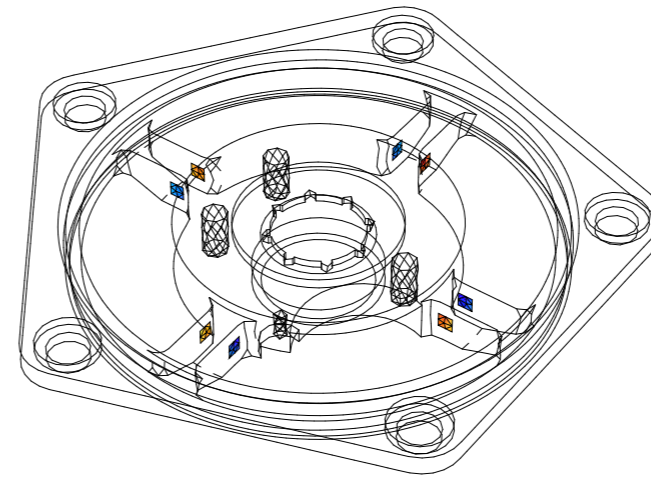
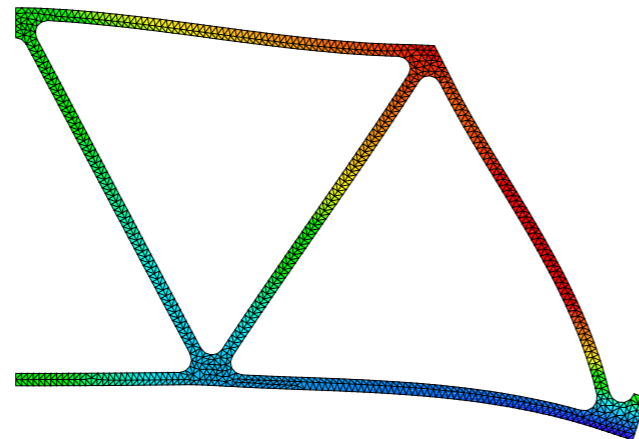
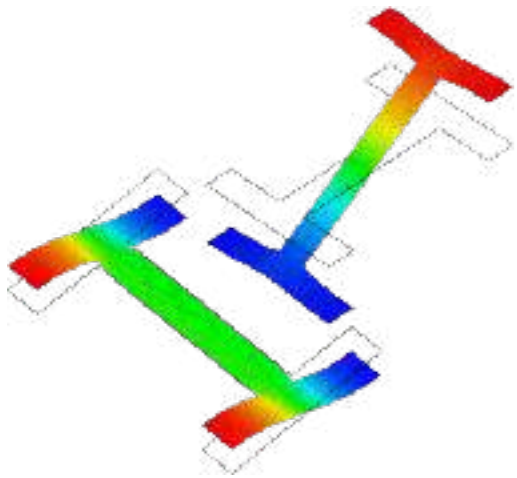
Exploitation par l'élève

- L'élève propose de faire varier telle ou telle quantité pour identifier un comportement, mettre en évidence un phénomène
- L'élève peut être amené à jouer sur les paramètres de la résolution numérique
- Il traite les données reçues :
 - Tableaux de valeurs
 - Cartes de champs
- Il conclut sur la base des résultats traités



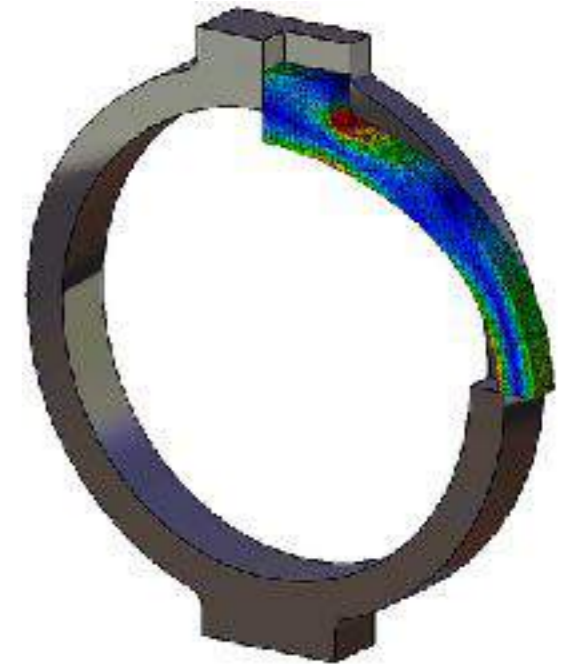
 **Essentiellement éléments finis (dimensionnement mécanique)**

- Souvent associées à des expériences de type base de données

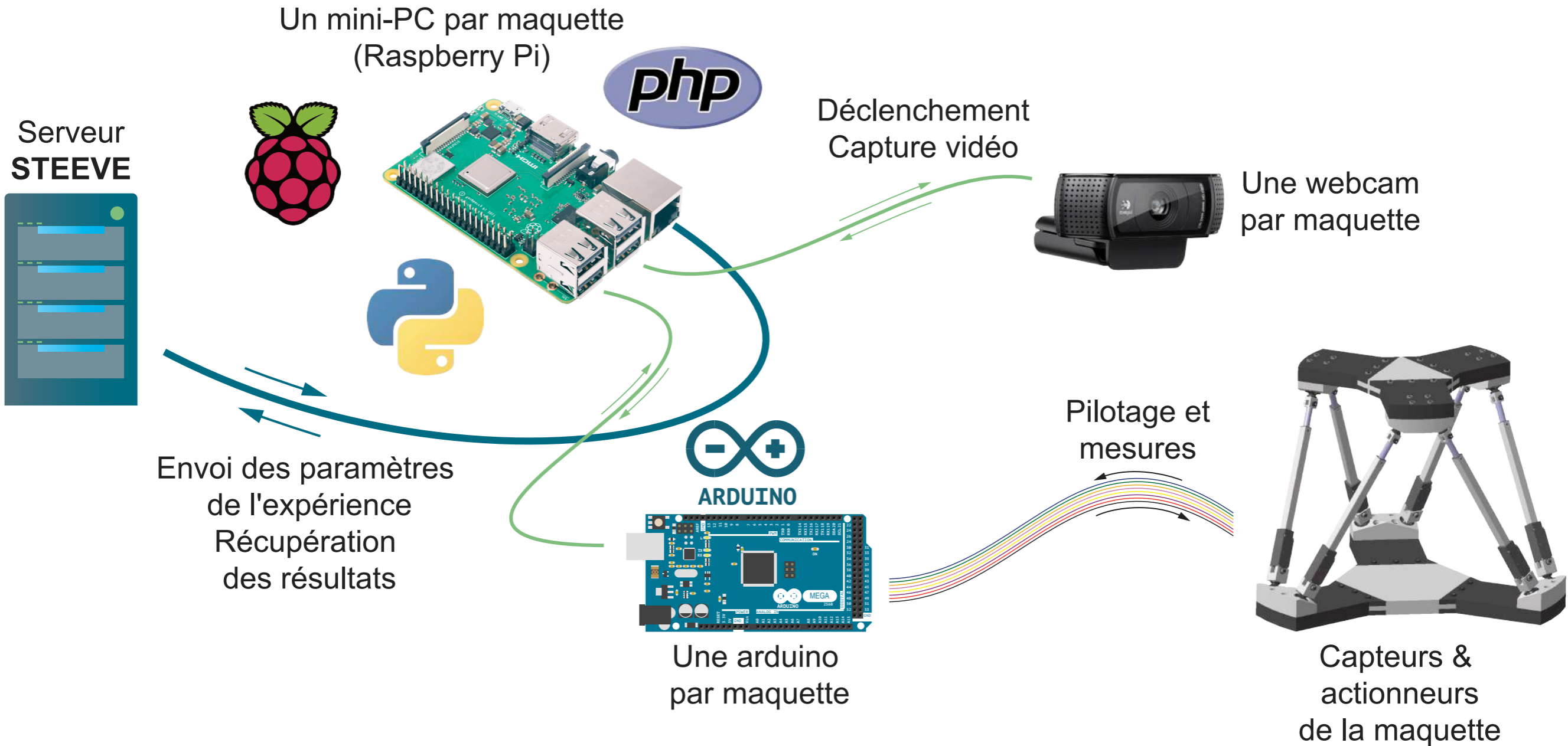


 **Mais aussi...**

- Comportement magnétostatique d'une machine électrique
- Résolution de problèmes de vibrations sur des poutres/barres
- Système asservi par un régulateur RST

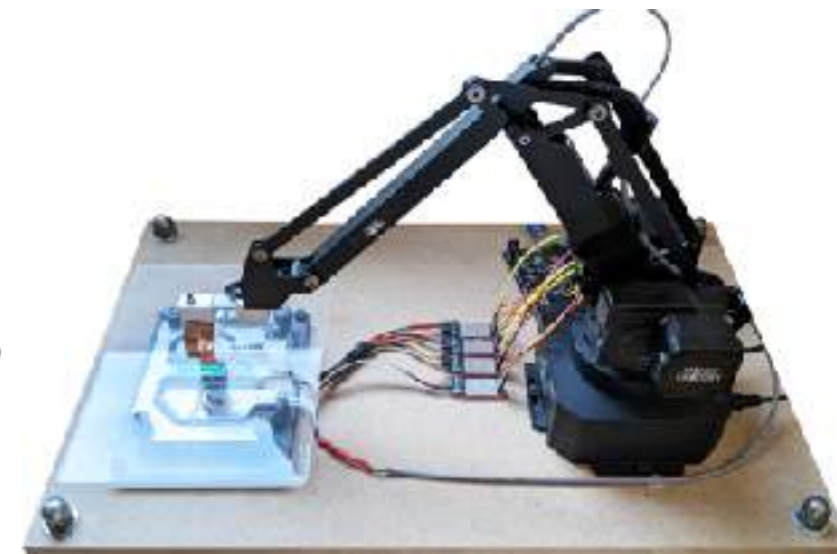
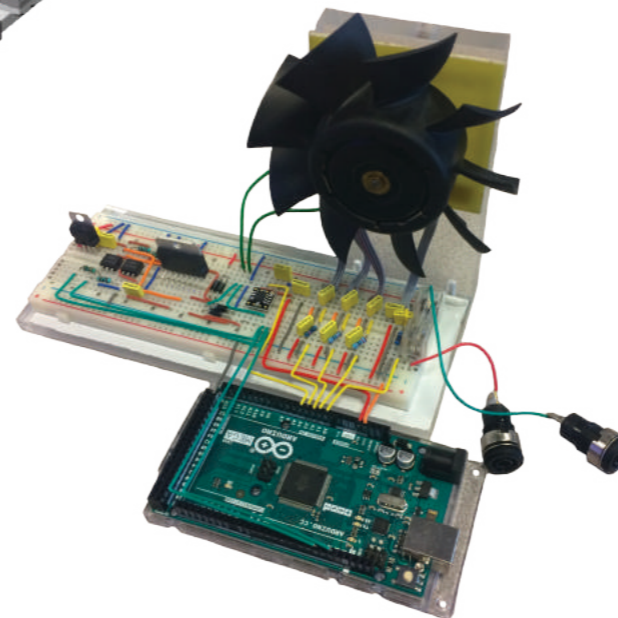
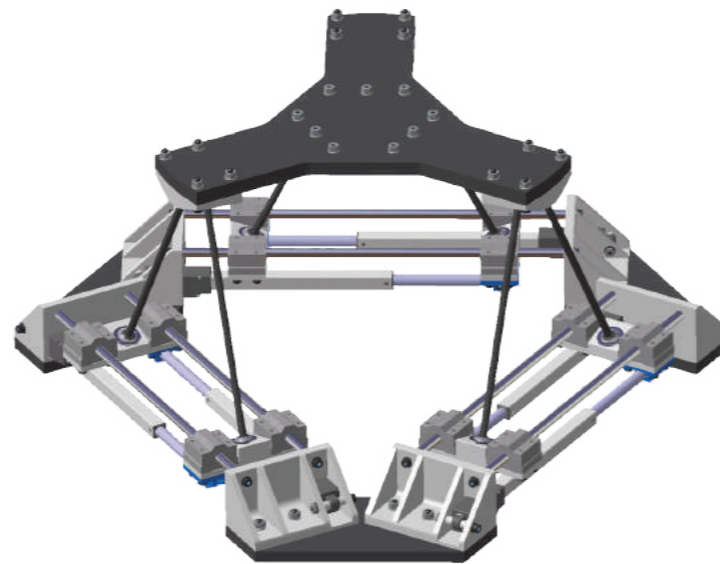


🤖 Architecture des systèmes distants développés



 **Quelques systèmes distants robotisés développés (autres en cours !)**

- 3 hexapodes de cinématiques différentes :
 - voir site eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay
- 1 banc d'essai de moteur brushless (ventilateur de CPU)
- 1 banc d'étalonnage automatisé pour système de pesée



Projet STEEVE

Retour d'expérience sur une séance hybride
TD – TP à distance avec STEEVE

Formation en M2FESUP PSEE et INTRANET à l'ENS Paris-Saclay

- Préparation à l'épreuve commune à l'agrégation SI
- 7 séances de 4 heures
 - Automatique linéaire et non linéaire à temps continu
 - Automatique linéaire à temps discret :
 - Influence de l'échantillonnage sur un correcteur P
 - Dimensionnement correcteur RST et comparaison PI numérisé

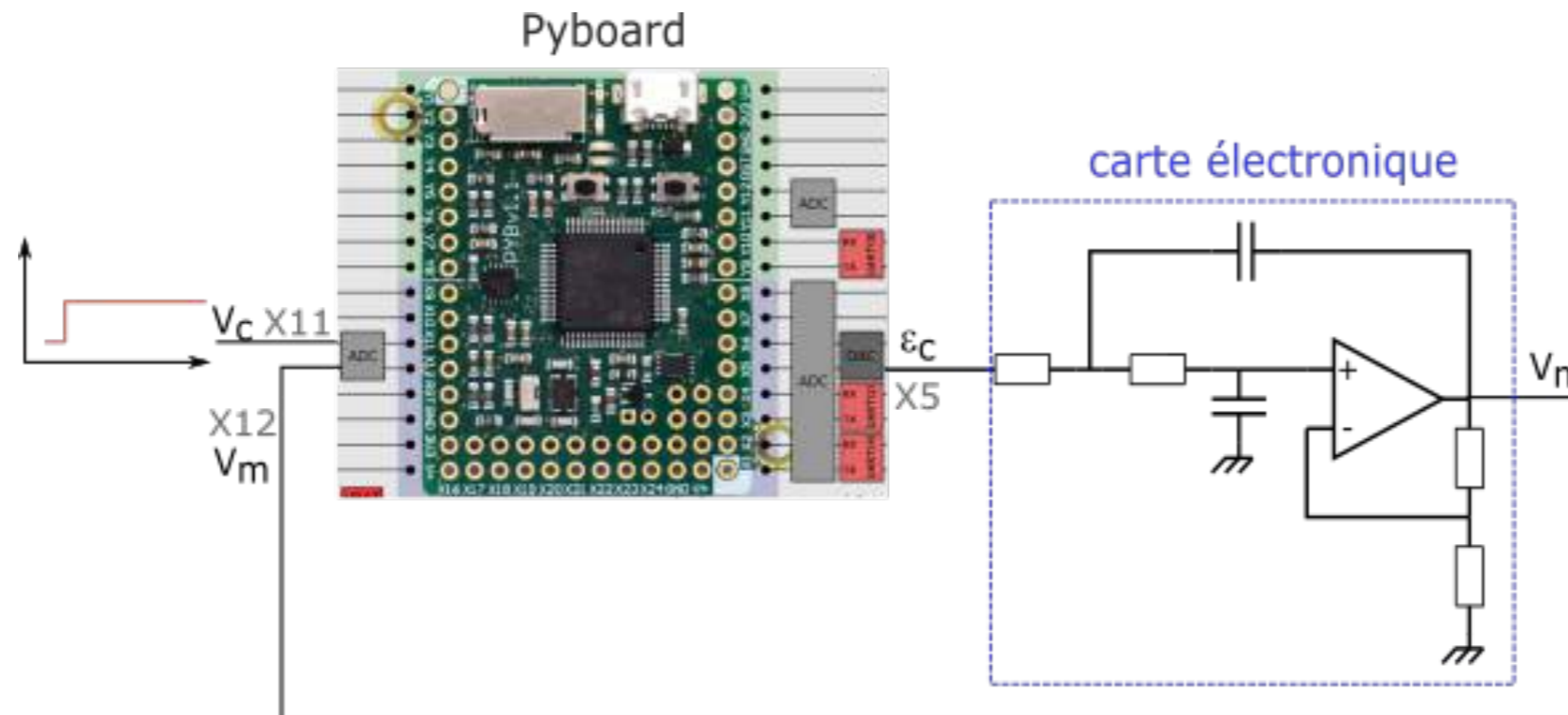
Nécessité d'hybridation des séances pour s'adapter

- Aux étudiants
- Aux évolutions technologiques
- Aux conditions « extérieures »

Séance TD - TP-hybride

- Description du système à l'aide de l'article 3EI ou culture sciences de l'ingénieur
- Récupération sous STEEVE de la réponse en BO du système
- Identification de la BO
- Dimensionnement du correcteur RST
- Simulation du correcteur RST sous STEEVE
 - Jumeau numérique d'un système asservi par un régulateur RST
- Expérimentation sous STEEVE du correcteur RST dans le système « réel »
 - Etude expérimentale d'un système asservi par un régulateur RST

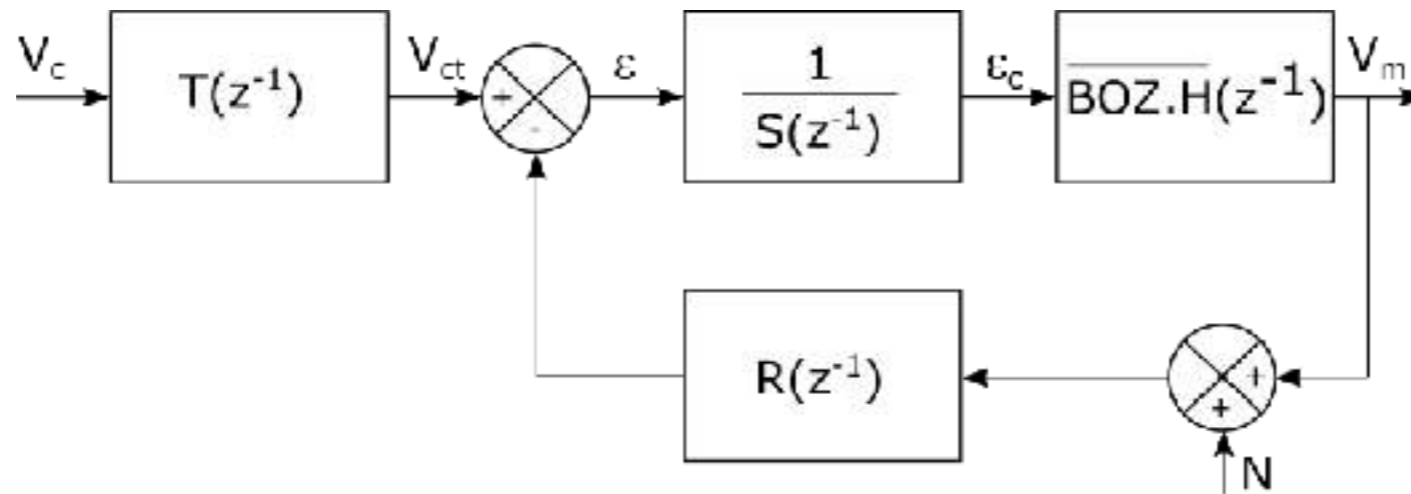
 **Systeme du second ordre simulé**



- Alimentation par le port usb de la pyboard et de la carte électronique
- Commande et échange de données par le port usb
- Programmation en Python



 **Modélisation et correction temps discret**



- Prise en compte de l'échantillonnage $T_e = 1ms, \tau \approx 6ms$
- Polynômes S et R de degré 1



 Vision des étudiants

STEEVE Accueil Système Expériences virtuelles Expériences pratiques Cours

JUMEAU NUMÉRIQUE D'UN SYSTÈME ASSERVI PAR UN RÉGULATEUR RST EXPÉRIENCE NUMÉRIQUE

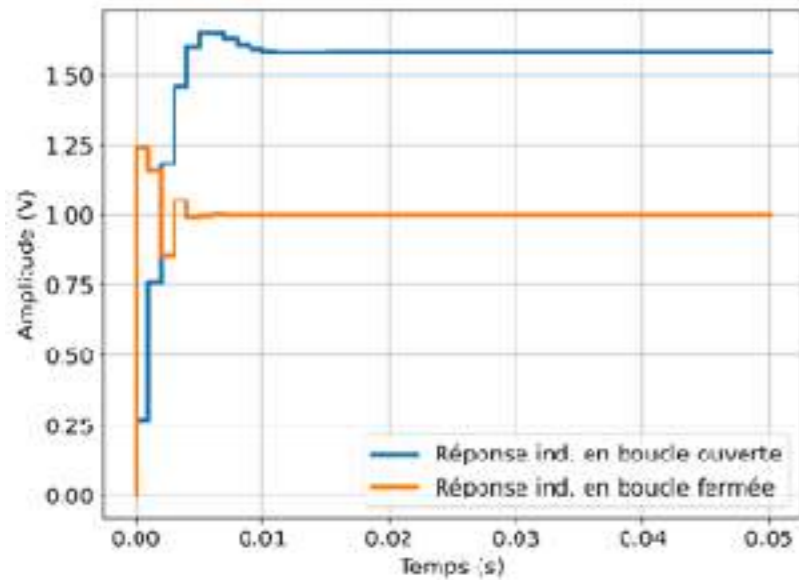
Système
 Expérimentation et simulation des systèmes pour l'automatique. Une plateforme pédagogique interactive permettant de visualiser et de simuler des systèmes dynamiques et leur commande.

CORRECTION
 La correction numérique d'un système asservi par un régulateur RST. Cette expérience permet de visualiser l'impact de la commande numérique sur la réponse en fréquence et la stabilité du système.

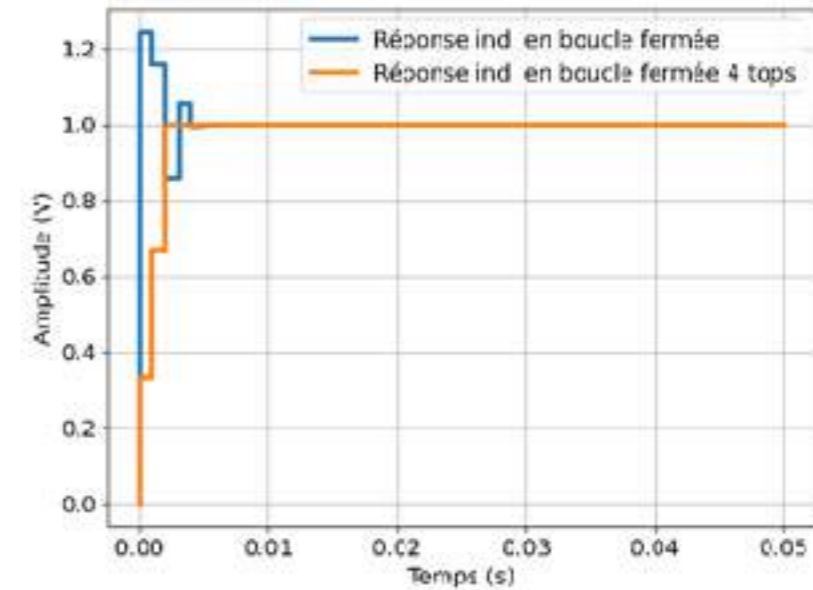
EXPÉRIENCE I

Paramètres de contrôle

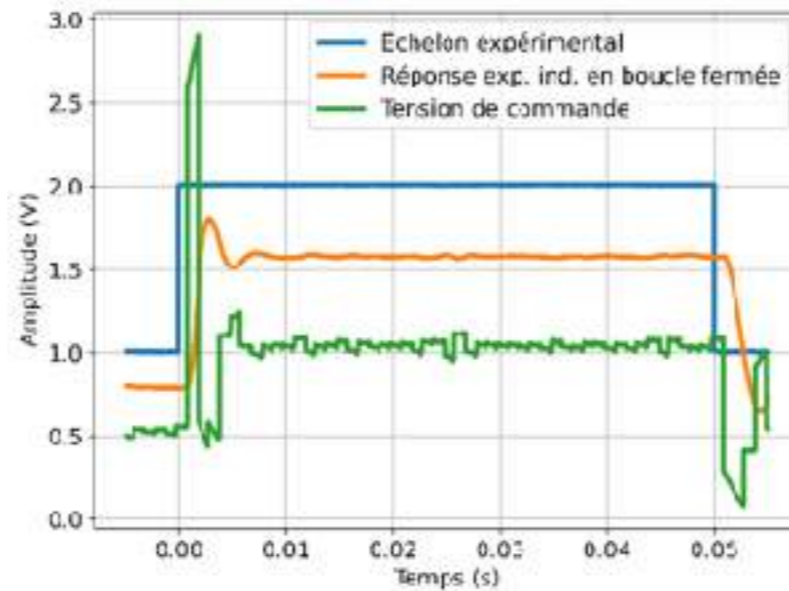
LANCER L'EXPÉRIENCE I



Comparaison BO & BF avec RST



Comparaison BF avec RST et RST / réponse pile



Comparaison BF expérimentale



STEEVE répond à mes besoins :

- Maintenir des pratiques expérimentales (maladies, handicapés, à distance, ...)
- Hybridation des cours, td voir tp
- Promotion des sciences de l'ingénieur (enseignement et recherche)
- Sauvegarde de certaines expériences ou savoir-faire
- La technique au service de la pédagogie (pas de connaissances poussées nécessaires)

Projet STEEVE

Evolutions

Objectif : développer le concept, essayer

- Elargir au sein de l'Université Paris-Saclay, voire au delà
 - Ecoles d'ingénieurs, formations multi-site
- Elargir à d'autres disciplines
 - Contacts en EEA, IUT GEII...
- Accroître l'offre d'expériences
- Accroître le volume de concepteurs d'expériences

Ce que cela nécessite

- Adaptation de la plateforme STEEVE (interface web)
- Adaptation de l'infrastructure sous-jacente
- Formation des usagers

Financement double obtenu pour STEEVE II

- Appel à projet Hybridation du ministère (juillet 2020) :
 - STEEVE II est intégré au projet HYCARE porté par l'UPSAY
 - Financement de l'Interface web et du petit matériel de formation : ~40 k€



- Appel à projet formation du LABEX LASIPS (mai 2021) :
 - Projet accepté en juillet 2021 : ~25 k€
 - Financement des 2 serveurs et des heures de formation/pilotage



Volet 1 : structuration (en cours)

- Notion d'établissement, de formation
- Notion de propriété d'une expérience
- Notion de partage entre établissements
- Dégradé de rôles à l'image d'un LMS comme moodle
 - Etudiant, enseignant, enseignant éditeur, gestionnaire, administrateur...



Volet 2 : améliorer la richesse des expériences (en cours)

- Ajout de leviers pour « rendre l'expérience distante moins distante »
 - Vidéos de présentation
- Possibilités d'interactions plus complexes : envoi de fichiers
- Ajout de contraintes liant des paramètres



Volet 3 : faciliter l'intégration de nouveaux développeurs

- Génération automatique de structures de codes
- Wiki, bibliothèque d'exemples de base

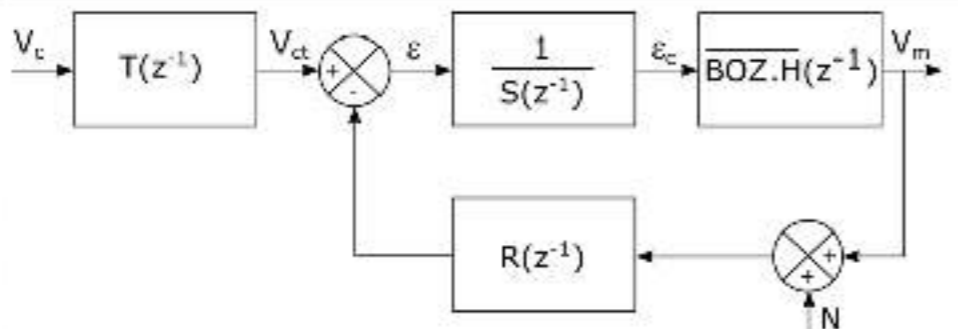


école _____
normale _____
supérieure _____
paris-saclay _____

... Questions ? ...

 Annexe : Interface administrateur STEEVE

Interface numérique d'un système asservi par un régulateur RST



Description :
 Cette expérience a été mise en œuvre numérique afin de tester physiquement par simulation et expérimentation l'existence d'un système de commande numérique par un régulateur RST. L'expérience est présentée sous deux parties :

1. **L'identification (ID)** : À partir d'un essai initial unitaire et de la réponse à celle-ci de ce système, il est demandé de déterminer les valeurs des paramètres du modèle en boucle ouverte. Les résultats sont fournis sous la forme d'une image png.
2. **L'autoapprentissage (RF)** : À partir de l'identification du système et du modèle en boucle ouverte de type RST, le comportement en boucle fermée avec simulation ou avec la caractérisation du système. Les résultats sont fournis sous la forme d'une image png comparant le système simulé et le système identifié et d'une image png des réponses en boucle ouverte et en boucle fermée du système.

Le système étudié est décrit à l'adresse web :
https://eduzcol.education.fr/ati/ai-ens-paris-saclay/resources_pedagogiques/rapports-des-outils-numeriques-sur-lenseignement-de-l'automatique-p-e-distance-a-partir-d'une-solution-hardware-controlsannable/

Caractéristiques

Expérience : Interface numérique d'un système asservi par un régulateur RST
 Système : Expérimentation et simulation des systèmes pour l'automatique
 Type d'expérience : Expérience numérique

Exécution

Service : http://135.231.74.65/connexion_RST_FD.php
 Mémoire requise : 1024 Mo
 Temps d'exécution : 10 secondes

Paramètres

Nom	Type	Dépendance(s)
BO ou RF	Fixe	+ x1 + id + i1 + K0 + m0 + w0

Code PHP sur le Raspberry

```
<?php
/*
  nom :      correction RST BD.php
  description : Ce programme permet la communication avec la plateforme Steeve en récupérant les variables qui en sont issues,
                et en lançant les programmes adéquats soit sur une simulation Python, soit en lançant une expérience sur la Pyb
  écrit par : Javier OJEDA, javier.ujeda@ens-paris-saclay.fr
  version :   0.0
  crée le :   18/02/2021
  modifié le :
*/

#####
## Récupération des variables depuis Steeve : BOF (booléen), K0 (float), m0 (float), w0 (float), s1 (float), r0 (float), r1 (float)
#####

// Récupération de BOF
if (isset($_GET['BOF'])){
    $BOF_WEB = $_GET['BOF'] ; // BOF peut prendre deux valeurs B0 et BF
    if ($BOF_WEB == "B0") { $BOF = True ; }
    else { $BOF = False ; }
}
else {
    $BOF = True ; // Attention avec la conversion booléen / texte selon ce qu'envoie Steeve
}
}
```

Code PHP sur le Raspberry

```

#####
## Lancement des différents programmes à effectuer : essai indiciel en BO ou essai indiciel en BF
#####

if ($BOF){
  /* Boucle Ouverte BOF == TRUE : essai d'indentification de la fonction de transfert en boucle ouverte */
  // Execution de la commande shell permettant de lancer le programme python de la boucle ouverte : sortie = RI_BO.png & RI_BO.tx
  putenv('PYTHONPATH=/home/raspberry/.local/lib/python3.9/site-packages');
  $output = shell_exec("cd /var/www/html/steeve/ && /usr/bin/python /var/www/html/steeve/correction_HSI_BO_BO.py");
  // On génère des noms de fichiers aléatoires et uniques
  $resid = uniqid();
  $resultFileNameTxt = $resid . '.txt' ;
  $resultFileNamePng = $resid . '.png' ;
  // On copie les résultats du fichier python dans ces fichiers à nom unique
  shell_exec('cp /var/www/html/steeve/RI_BO.txt /var/www/html/steeve/.$resultFileNameTxt') ;
  shell_exec('cp /var/www/html/steeve/RI_BO.png /var/www/html/steeve/.$resultFileNamePng') ;
  // Print du json de retour pour donner les fichiers à uploader à Steeve
  print '
  {
    "documents": {
      "1": {
        "docName": "Réponse indicielle format txt",
        "docUrl": "http://138.231.71.66/steeve/" . $resultFileNameTxt . ""
      },
      "2": {
        "docName": "Réponse indicielle format png",
        "docUrl": "http://138.231.71.66/steeve/" . $resultFileNamePng . ""
      }
    }
  }
  ;
}
  
```