

Option Projet  
« Ingénierie des Low-techs »  
LOWTEC

*Bilan du projet WELow et de la formation*

*Année 2022/2023*

*CANAVA Lou  
RAFFENOT Auriane  
VERMEREN Ilan  
LECAILLE Mathieu  
CHAMMING'S Maël  
MEUNIER Guilven*

## 1 CONTENU

<b>1 Contenu</b>	<b>2</b>
<b>2 Contexte</b>	<b>3</b>
Constat du monde industriel	3
Rapport à la technologie	3
La low-tech, c'est quoi ?	4
<b>3 Le projet WELOW</b>	<b>5</b>
WE Explore Low-Tech, le projet de cette année	5
Les partenaires du projet	5
Missions de l'équipe étudiante	6
Objectifs d'Explore et Centrale Nantes	7
<b>4 Acteurs</b>	<b>8</b>
Les étudiants: L'équipe WELOW	9
Les acteurs de Centrale Nantes	12
Les partenaires extérieurs	13
Les rencontres	15
<b>5 Résultats du projet</b>	<b>17</b>
Cartographie des systèmes étudiés	17
Etat d'avancement du projet catamaran low-tech	21
<b>6 Retour critique</b>	<b>24</b>
Bilan sur la formation	24
Besoins	25
L'enseignement	27
<b>L'évaluation par compétence</b>	<b>29</b>
<b>7 Retour critique sur la communication</b>	<b>36</b>
Communication	36
Le forum low-tech	37
La presse	37
<b>8 Annexes</b>	<b>39</b>
Référentiel low-tech	39
Retour d'expérience sur l'enseignement	41
Planning de communication	43
Tableau récapitulatif d'avancement	47

7.2 forum lowtech (lou, maël)

6.2 (ajouter en annexe le tableau "cours")

## 2 CONTEXTE

### CONSTAT DU MONDE INDUSTRIEL

La révolution industrielle du XIX<sup>ème</sup> siècle a fait basculer une société à dominante agraire et artisanale vers un monde industriel et commercial. L'humanité est passée d'une économie totalement circulaire, renouvelable et durable à un système aujourd'hui quasi linéaire. Malheureusement, le modèle économique actuel épuise les ressources non-renouvelables (minéraux, métaux, ressources fossiles) et génère de nombreux impacts environnementaux mettant en péril les conditions de vie sur Terre : dérèglement climatique, effondrement de la biodiversité, pollutions de l'eau, de l'air et des sols, ... Nous sommes ainsi confrontés à la **finitude des ressources**<sup>1</sup> et au franchissement de cinq des neuf **limites planétaires**<sup>2</sup>. Hélas, ce ne sont plus les seuls enjeux !

Des risques de **dépendances géopolitiques** et de **pénuries** que nous vivons déjà en ce moment viennent s'ajouter : tensions sur le gaz russe, hausse du prix des matières premières, hausse des prix de l'énergie, etc.

Ces dernières décennies, l'essor des **high-techs** à un usage industriel ou humain ou de leurs applications ont largement accentué les impacts environnementaux. Ainsi, ces nouvelles technologies peuvent autant faire partie de la solution par le service rendu ou par leur efficacité, que faire partie du problème. Elles peuvent participer au risque par la technique en elle-même, par la création de nouveaux besoins ou usages. La démocratisation d'une nouvelle technologie rendue possible par un gain d'efficacité unitaire peut également engendrer un problème, via l'**effet rebond**<sup>3</sup>.

Les low-techs sont identifiées comme une **solution alternative**. Car elles sont plus sobres en ressources, plus réparables, réutilisables, recyclables et plus appropriables dans l'usage.

### RAPPORT À LA TECHNOLOGIE

Nous vivons ainsi dans un monde où **la technologie a un poids énorme**, elle nous berce dans l'illusion d'un futur meilleur, ou les problèmes seront résolus par les avancées de celle-ci. Ce n'est pourtant pas le cas, alimentant la course à la croissance de notre économie, de plus en plus déshumanisante, la technologie se dresse contre les valeurs éthiques que l'homme préserve<sup>4</sup>. La technologie n'est pas neutre. Il est nécessaire de trouver d'autres trajectoires pour celle-ci, plus humaine, plus proche de nos valeurs.

La philosophie low-tech se propose comme une alternative viable et désirable. Elle souhaite promouvoir un mode de vie centré sur l'humain, plus sobre, soutenable. Cette démarche de questionnement repense notre rapport à la technique et redonne un sens plus profond à l'ingénieur dans la transition de nos modèles sociétaux.

<sup>1</sup> Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., (2017). Les limites de la croissance – Dans un monde fini. Rue de l'échiquier.

<sup>2</sup> Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223).

<sup>3</sup> L'effet rebond est un phénomène observé par des économistes, qui constatent que, régulièrement, une meilleure efficacité dans la production d'un produit conduit à une augmentation de sa consommation (ou de la consommation d'un autre produit) qui peut dépasser les gains environnementaux globaux liés à l'efficacité.

## LA LOW-TECH, C'EST QUOI ?

Il existe différentes définitions souvent complémentaires. Conservons la synthèse qui a été écrite par l'ADEME<sup>4</sup>. Ce sont des objets, des systèmes, des techniques, des services, des savoir-faire, des pratiques, des modes de vie et même des courants de pensée qui répondent à 5 grandes caractéristiques :

- **Utile** : Une low-tech correspond à des besoins essentiels dans les domaines de l'énergie, l'alimentation, l'eau, la gestion des déchets, les matériaux de construction, l'habitat, les transports, l'hygiène ou la santé.
- **Durable** : Résiliente, robuste, réparable, recyclable. La low-tech est éco-conçue pour que son impact écologique et social soit optimal, et ce à toutes les étapes de son cycle de vie, de la conception, production, distribution et usage et jusqu'à la fin de vie du processus.
- **Accessible** : A l'inverse des high-techs, son coût et sa complexité technique ne sont pas excessifs pour une large tranche de la population. La low-tech doit être accessible au plus grand nombre.
  
- **L'accès à l'autonomie** : Une low-tech doit être reproduite et réparée sans dépendre de prestations de réparation, d'entretien, etc. La recherche d'autonomie est importante pour les utilisateurs des low-techs.
- **Local** : Il s'agit de faire local à l'échelle d'une commune, et dans d'autres d'une région ou du pays autant que possible. A condition que cela soit pertinent afin de ne pas perdre les bons effets d'échelle.

---

<sup>4</sup> ADEME. 2022. État des lieux et perspectives des démarches « low-tech ». Rapport - 48 pages. : <https://librairie.ADEME.fr/>



Images: designed by juicy\_fish from Flaticon

### 3 LE PROJET WELOW

#### WE EXPLORE LOW-TECH, LE PROJET DE CETTE ANNÉE

C'est dans ce contexte de crise environnementale que Centrale Nantes et ses partenaires souhaitent promouvoir et développer les low-techs comme solution systémique pour la transition écologique. L'option Ingénierie des low-techs a été lancée en septembre 2022. Basée sur la pédagogie par projet, l'option a maintenant pour objectif principal de réfléchir à **l'aménagement d'un catamaran grâce à une démarche et des technologies low-techs**, pour le rendre le plus **autonome** et le **moins impactant** possible sur son environnement. Mobilisant des techniques d'une grande diversité, le projet s'appuiera sur une rigueur scientifique exemplaire pour étudier d'un point de vue systémique complexe, dimensionner les low-techs à prototyper et à implémenter.

#### LES PARTENAIRES DU PROJET

##### EXPLORE.



Nous sommes pour ce projet en partenariat avec [EXPLORE](#), un incubateur de projets d'exploration qui répondent aux défis environnementaux et humains actuels. Fondé par Roland Jourdain et Sophie Vercelletto en 2013, EXPLORE a notamment pour but de promouvoir l'esprit low-tech autour du monde. C'est dans cet esprit qu'a été construit le catamaran de course We Explore, pensé pour le skipper Roland Jourdain. Plus qu'un simple navire, ce catamaran se veut être un démonstrateur de nouvelles techniques et mode de vie

plus soutenable. Le pont a été conçu en bio-composites, avec de la fibre de lin<sup>5</sup>. Après sa course pour la Route du Rhum, il va également être utilisé comme démonstrateur pour les personnes d'influence et comme navire support pour des missions scientifiques, notamment la fondation Under The Pole.

Un autres partenaires nous accompagnent pour la formation et leur expertise.

**APALA** **APALA** est une association écologiste scientifique à but non lucratif qui apporte des réponses techniques low-tech et open source aux problématiques de soutenabilité de notre environnement. En les popularisant, elle ambitionne d'offrir à chacun la possibilité de cultiver son autonomie énergétique et alimentaire. C'est l'acteur principal des Low-techs à Nantes<sup>6</sup>.

#### MISSIONS DE L'ÉQUIPE ÉTUDIANTE

Concrètement, l'équipe a pour mission d'adapter différentes solutions techniques low-tech à bord du catamaran OUTREMER 5X We Explore afin de répondre à plusieurs besoins. Les étudiants devront dimensionner, prototyper et installer les solutions low-tech choisies sur le catamaran.

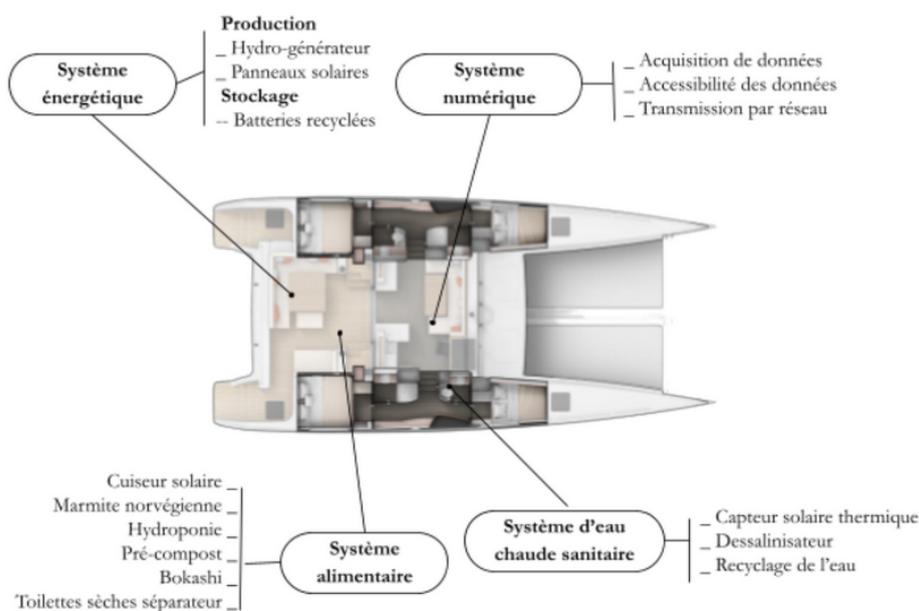


Figure 1 - Différents systèmes low-techs à développer

Ces besoins ont été identifiés et regroupés en quatre systèmes :

- le **système énergétique**, concernant la production et le stockage d'énergie sur le catamaran.
- le **système électronique et numérique**, dont l'objectif est double : récolter et exploiter les données expérimentales des low-tech installées et proposer un ordinateur "low-tech" regroupant des services bureautiques et pédagogiques..

<sup>5</sup> Coroller L. (2021, juin 15). Roland Jourdain et Outremer lancent la construction d'un catamaran de 18 mètres en fibre de lin. *Voiles et Voiliers*. [Lien vers l'article](#)

<sup>6</sup> Une présentation vidéo (9 min.) : <https://lowtechlab.org/fr/actualites-blog/enquete-01>

- le **système eau chaude sanitaire**, permettant aux passagers de profiter du confort de l'eau chaude à bord dans une douche.
- le **système de gestion des matières organiques**, ayant pour rôle de gérer les déchets et le réchauffage et/ou cuisson de la nourriture.

#### OBJECTIFS D'EXPLORE ET CENTRALE NANTES

Le catamaran WE EXPLORE sera utilisé pour plusieurs missions : il accompagnera Roland Jourdain lors de ses régates et courses au large, et servira de base scientifique pour effectuer des mesures en mer sur plusieurs jours. Pour EXPLORE, le catamaran sera également l'occasion d'inviter à bord des élus, journalistes, scientifiques et chefs d'entreprises. Il se placera ainsi en démonstrateur pour sensibiliser et inspirer des décideurs et des industriels en montrant d'une manière originale l'efficacité et l'utilité des systèmes low-techs. Si ce projet arrive à susciter un réel intérêt des entreprises, cela montrera que les low-tech et la sobriété ont leur place dans le cursus technique d'ingénieur.

4 ACTEURS

A travers le projet WELOW, les étudiants ont rencontré une multitude d'acteurs que nous tenons à citer dans ce chapitre.

**Quelques chiffres**

- 17 étudiants Centraliens sur le projet
- Plus d'une vingtaine d'enseignants ou vacataires rencontrés
- Plus de 50 entreprises, associations, structures professionnelles rencontrées

**Cartographie des acteurs**

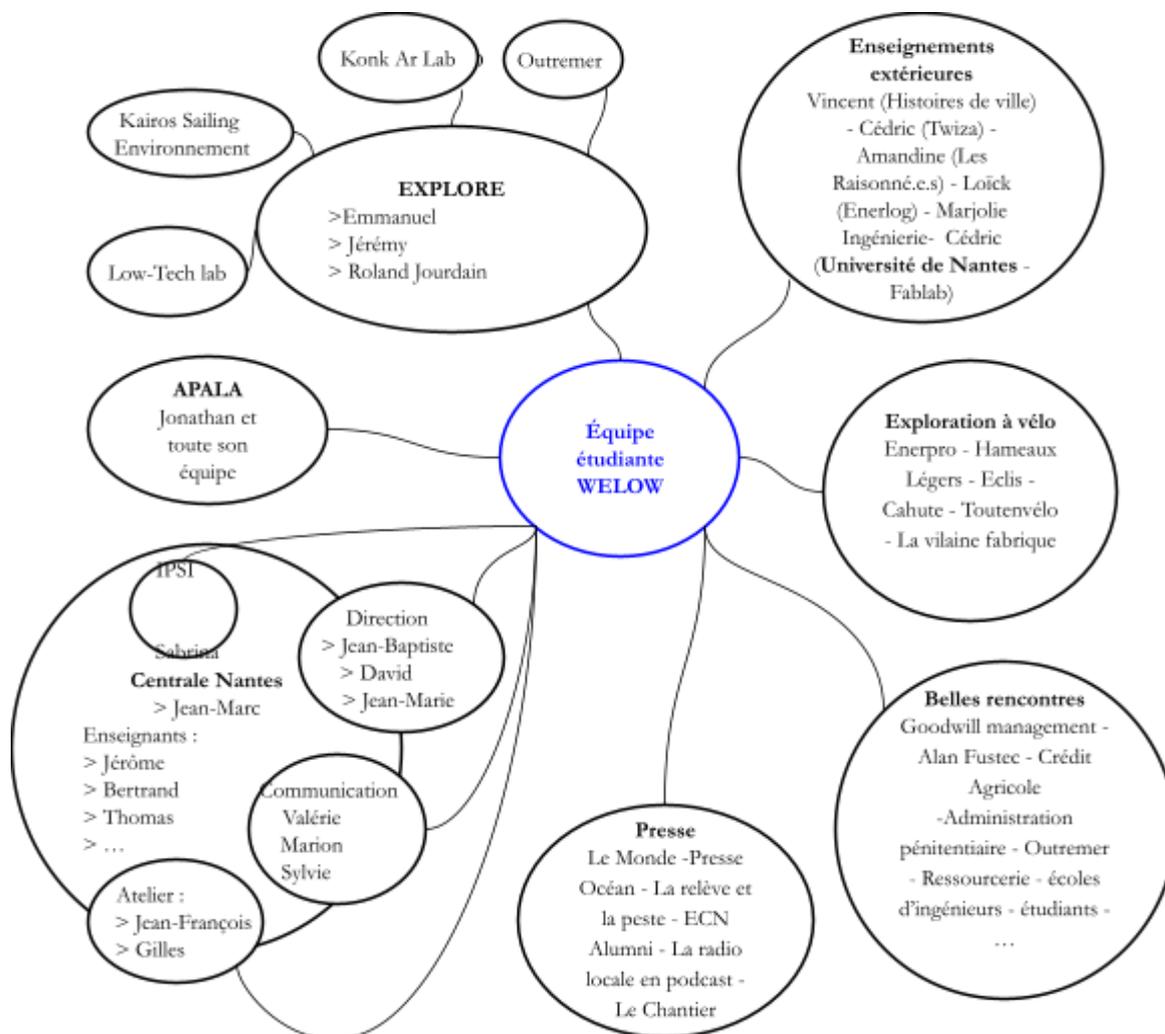


Figure 2 - Cartographie des acteurs du projet

LES ÉTUDIANTS: L'ÉQUIPE WELOW

**L'équipe WELOW**

L'équipe se compose de (de gauche à droite) : Maël Chamming's, Guilwen Meunier, Auriane Raffenot, Mathieu Lecaille, Ilan Vermeren et Lou Canava.



*Photo de la promotion 2022/2023 lors de leur semaine de prototypage à Concarneau*

Dans une volonté d'être en accord avec la démarche low-tech et des méthodes de management responsable, l'équipe ne comporte pas de chef.fe de projet. Cependant, chaque thématique a un ou une référent.e qui est l'interlocuteur.trice privilégié.e pour échanger sur ladite thématique (Tableau 1).

	Lou	Guilwen	Mael	Mathieu	Auriane	Ilan
<b>Organisation et communication</b>						
Gestion LinkedIn	I	R	I	A	I	I
Gestion e-mail	I	I	I	I	R	A
Gestion Insta	R	I	I	A	I	I
Contact admin centrale	A	A	A	A	R	A
Gestion de l'emploi du temps	A	A	A	R	A	A
Contact comm centrale	R	A	I	I	I	I
Contact entreprise/assos ext	I	I	I	A	I	R
Gestion site internet	R	R	I	I	I	I
<b>Système techniques</b>						
Pole energie	R	I	I	R	I	R
Pole matière organique	A	A	R	A	A	A
Pole hydroponie	I	I	I	I	I	R
Pole eau chaude sanitaire	I	A	A	I	R	I
Pole électronique /comm	I	R	I	I	I	I
<b>Projet étudiant</b>						
IECO	I	A	I	I	R	I
E-control	I	R	I	I	I	A
Energ	A	I	I	R	I	R

*Tableau 1 - Matrice RACI des responsabilités*

L'équipe s'est étendue avec les différents projets que nous avons proposés à des étudiants de centrale.

### L'équipe IEEO

L'équipe se compose de : Bleuenn Rivallain, Guilherme Fontes Tavares da Silva, Tiphaine Bredeka, Julie Thiriet, Alexis Ibrahim.

La gouvernance n'a pas été définie en amont, les étudiants de l'option LOWTEC ont laissé à l'équipe IEEO le choix sur leur organisation, s'ils veulent définir un.e interlocuteur.rice privilégié.e pour dialoguer avec eux, un.e chef.fe de projet par thématique. Du côté de l'équipe LOWTEC, Auriane Raffenot est la référente de leur partie du projet.

Leurs compétences sont variées, **conception CAO, programmation**, le profil particulier que nous exploitons est en lien avec leur formation IEEO ingénieur de la transition écologique.

C'est pourquoi nous leur proposons des missions d'**analyse de cycle de vie, de conception d'un vélo-générateur** ainsi que d'aide sur différents points où leurs connaissances et apports seraient les bienvenus.

### L'équipe E-Control / SEC

L'équipe LOWTEC a décidé de travailler avec trois étudiants pour le système numérique. Killian Leray, étudiant en systèmes embarqués et capteurs (SEC) s'occupe de la gestion des données sur le Raspberry Pi, du module de formation Explore et du partage des données localement. Nathan Petton et Adrien Flambard, de l'option E-control, avaient pour mission la création et la programmation des modules Arduino qui récupéreront les données des capteurs pour les envoyer au Raspberry Pi. Le référent de l'équipe LOWTEC est Guilwen Meunier.

Leurs compétences s'inscrivent dans la **programmation et la création de systèmes numériques** répondant à des besoins.

### L'équipe Energie

Un sujet de projet a été soumis au responsable d'option ENERG, Jean-François Hétet. Le projet proposé a été validé et accepté par les étudiants de l'option ENERG. L'équipe se compose de : Mathilde Martin, Alexis Bluleneau, Maxime Buquet.

Le projet consiste à concevoir et fabriquer un pack de batterie Li-Ion fonctionnel à partir de cellules upcyclées issues de vélos électriques. Le pack de batterie sera ensuite utilisé comme moyen de stockage de l'énergie à bord du catamaran WeExplore. Un corollaire au sujet de fond est de savoir identifier facilement les cellules défectueuses à l'intérieur d'un pack de batterie. Le référent de l'équipe LOWTEC est Ilan Vermeren.

Leurs compétences s'inscrivent dans la **modélisation et le dimensionnement de systèmes énergétiques**. C'est pourquoi nous utiliserons leur savoir-faire pour une partie du système énergétique.

### L'équipe étudiante des Matinales

L'équipe LOWTEC ont travaillé avec les trois étudiants organisateurs des Matinales (Pierre Baudet, Erwan Laurent et Jean Reborat) pour leur participation au forum low-tech.

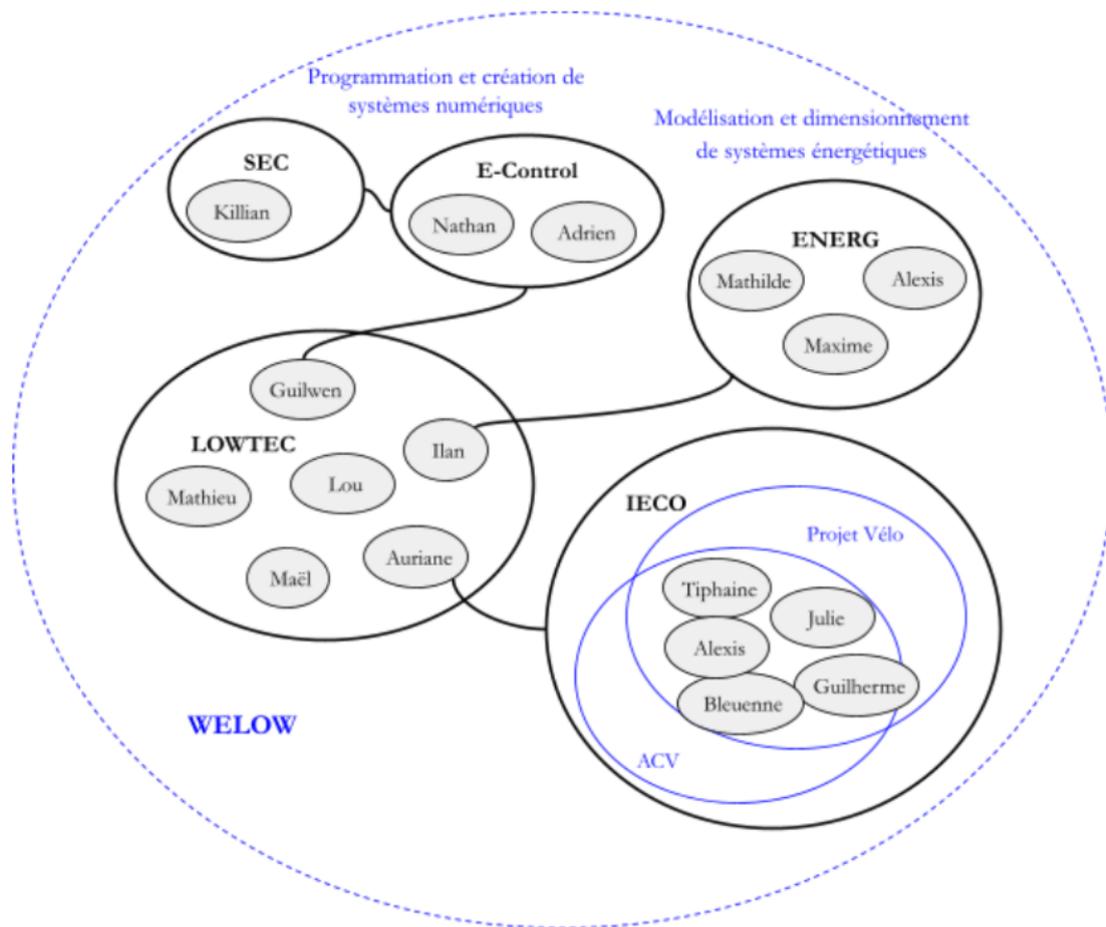


Figure 3 - L'équipe Welow détaillée

---

## LES ACTEURS DE CENTRALE NANTES

### Responsable de l'option

Jean-Marc Benguigui, le chef d'orchestre qui veille au bon fonctionnement du projet entre les différents acteurs du projet. Il supervise le travail des étudiants, les conseille et leur apporte des méthodes à travers les réunions périodiques et ses cours (Économie circulaire, éco-conception et low-tech)

### Equipe enseignante de Centrale Nantes

Nous trouverons ci-dessous, les enseignants qui ont apporté leur expertise en donnant des cours ou en tutorat de projets :

- Jérôme Friant → Matériaux et les procédés pour les Low-techs
- Bertrand Huneau → Recyclabilité des matériaux
- Thomas Corre → Analyse du cycle de vie
- Mickael Briday et Pierre Emmanuel Hladik → Système informatique embarquée
- Mohamed Hamida → Système informatique embarquée
- Jean-François Hetet → Production et stockage d'énergie

Gilles Patté et Jean-François Mauguin de l'atelier de l'IPSI ont également apporté leur soutien et conseillé les étudiants.

### Département Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels (IPSI)

Les étudiants LOWTEC ont travaillé en étroite collaboration avec Sabrina Lelièvre notre assistante du département IPSI pour organiser les différents séjours à Concarneau, le voyage d'exploration à vélo et gérer le budget du projet.

### Service communication

L'équipe de Valérie Chilard avec Marion Stimpfing et Sylvie Bomski ont aidé les étudiants avec la mise en place des différents événements (Journée de la science, journée des portes ouvertes et le forum low-tech), du site internet, des outils de communication et la gestion de la presse.

### Equipe de direction

Jean-Baptiste Avrillier et son équipe de direction sont à l'origine de ce partenariat. David Chalet directeur de la formation avec Jean-Marie Normand, notre responsable du cycle ingénieur, étaient présents pour assurer au responsable de l'option les moyens au bon déroulement du projet.

## LES PARTENAIRES EXTÉRIEURS

Ils étaient très nombreux.

### Apala

C'est notre acteur principal côté enseignement qui a délivré les connaissances indispensables à la démarche low-tech. Jonathan Gueguen, le responsable de l'association Apala, a apporté ses conseils à Centrale Nantes pour la construction de la maquette pédagogique. Avec toute son équipe composée de Manon Garnier, Charlotte Kaplan, Clément Mahé, Laura Martin et Nicolas Verneuil, ils ont délivré de nombreux cours.

### Explore

Notre partenaire principal est un incubateur de projets d'exploration qui répondent aux défis environnementaux et humains actuels. Fondé par Roland Jourdain et Sophie Vercelletto en 2013, Explore a notamment pour but de promouvoir l'esprit low-tech autour du monde. C'est dans cet esprit qu'a été construit le catamaran de course We Explore, pensé par le skipper Roland Jourdain. Plus qu'un simple navire, ce catamaran se veut être un démonstrateur de nouvelles techniques et modes de vie plus soutenables. Le pont a été conçu en bio-composites, avec de la fibre de lin. Après sa course pour la Route du Rhum, il va également être aménagé de systèmes low-tech et utilisé comme démonstrateur pour les personnes d'influence et comme navire support pour des missions scientifiques, notamment la fondation Under The Pole. Roland Jourdain est à l'initiative du partenariat entre EXPLORE et Centrale Nantes.

Emmanuel Poisson-Quinton responsable du développement d'Explore est le **point d'entrée du projet** avec l'équipe étudiante. C'est lui qui **exprimera les besoins, fournira les éléments techniques du projet et les décisions prises** pour le projet. Dans la dernière phase du projet les étudiants fabriqueront les prototypes avec les équipes de la base Explore.

### Kairos (Sailing / Environnement)

Fondée par Roland Jourdain et Sophie Vercelletto, Kairos est une entreprise qui allie performance sportive et performance environnementale. L'écurie de course Kairos Sailing accompagne les skippers dans la compétition au large. Et l'autre entité Kairos Environnement est un bureau d'étude dédié aux savoir-faire en matériaux composites au service de démarches environnementales.

Jérémy Millot est ingénieur bio-composite et architecte naval Chez Kairos. Il a travaillé au développement de la coque en fibres de lin du catamaran de course Outremer 5X de Roland Jourdain. Il sera l'interlocuteur privilégié pour apporter les éléments techniques et suivre les résultats des travaux.

### Konk Ar Lab

C'est un FabLab situé à Concarneau, partenaire d'Explore et du Low-Tech Lab, où les étudiants ont pu bénéficier ponctuellement de conseils pendant leurs séjours en Bretagne.

---

## Outremer

Un autre acteur du projet avec lequel les étudiants ont des contacts est le chantier Outremer où à été construit le catamaran “We Explore”. L’entreprise a manifesté son intérêt de se rapprocher avec l’école Centrale.

## Low-tech Lab de Concarneau

Incubé et soutenu par EXPLORE, Quentin Matteus membre du Low-tech Lab, est venu apporter des connaissances aux étudiants.

## Les autres acteurs des enseignements

D’autres acteurs sont venus dispenser des connaissances et des savoir-faire.

- Vincent Chaillou - Histoires de ville → Intelligence collective et responsable
- Cédric Daniel - Twiza → Management éthique et la philosophie low-tech
- Amandine Garnier - Les Raisonné.e.s → Communication responsable
- Loïck Kaliou - Enerlog → Aérothermie et capteurs électronique
- Marjolie Le Pape - Marjolie Ingénierie - Habitat écologique
- Cédric Doutriaux - Université de Nantes - Fablab de la faculté des sciences et techniques

## LES RENCONTRES

Les étudiants ont fait de nombreuses rencontres inspirantes et insolites, que ce soit des entreprises, des écoles ou des étudiants.

### **Le voyage à vélo d'exploration de Rennes à Saint-Malo**

Ils ont réalisé un voyage à vélo pour explorer différents types d'organisations impliquées dans la démarche Low-tech :

- Enerpro, Alexandre → Solutions de méthanisation adaptées à l'échelle d'un territoire
- Hameaux Légers, Clémentine & Xavier
- Eclis, Caroline et Olivier → Eco Construction Locale et Initiative Solidaire
- Cahute, Thomas et Pauline → Conception et la réalisation de tiny-house homologuées "caravane"
- Le village de la route du Rhum avant le départ du catamaran
- Toutenvélo, François → SCOP Rennaise de cyclo-logistique
- La vilaine fabrique, Gaspard, Axel et Claire → Fablab low tech

### **Les entreprises venues à la rencontre de l'option**

Suite à l'annonce de l'ouverture de l'option Ingénierie des low-techs de nombreuses entreprises nous ont sollicités pour rencontrer les étudiants ou proposer des stages, des emplois et même des thèses. Le plus surprenant, c'est de voir la diversité des organisations qui nous ont contactés :

- Goodwill management - Alan Fustec
- Crédit Agricole - Mathieu Porcion (Tableau x)
- CPM Industrie - Elise Heuters
- Décathlon - Anne-Sophie Pierre
- Orange - Marc Vautier
- ADEME - Anne-Charlotte Bonjean et Quentin Tizon
- Administration pénitentiaire - Julien Sipra
- IDForCar - Isabelle Dussutour
- Fédération des Industries Mécanique - Caroline Thibault
- NéoLoco - Arnaud Crétot
- L'atelier Bélénos - Didier Ménard
- Outremer Catamarans - Xavier Demarest
- La ville de Bordeaux - Jean-Baptiste Thony
- La ville de Roubaix - Hugo Delahaye
- etc.

### **Les acteurs nantais de la low-tech et de l'ESS**

- Des ressourceries : Stations services, Articonex, Tri'n'Collect, ...

- EchoBat
- Solilab
- PING - Fablab
- Le grand bain
- Vélocampus

### **Contacts avec d'autres écoles d'ingénieurs**

De nombreuses écoles d'ingénieurs nous ont sollicités pour nous questionner sur l'option.

- UTT de Troyes
- Arts et Métiers (ENSAM) - Centres de Châlons-Champagnes et Bordeaux
- INP Grenoble
- INP Toulouse
- Icam de Nantes
- Centrale Paris
- Centrale Marseille
- Centrale Lyon
- UBS Lorient

### **Forum low-tech**

Voici les entreprises qui ont tenues un stand lors du forum low-tech à Centrale Nantes

- Goodwill management - Alan Fustec
- Orange - Marc Vautier
- ADEME - Anne-Charlotte Bonjean et Quentin Tizon
- L'atelier Bélénos - Didier Ménard
- Ping
- La vilaine fabrique, Gaspard, Axel et Claire
- NTI-Bolivia
- Apala
- Explore
- Terre crue (Madeline Delage)
- L'avant d'après
- Shift Project
- La ville de Bordeaux - Jean-Baptiste Thony
- Décathlon - Anne-Sophie Pierre
- Cap LT
- idée d'en faire
- Ilot Vivant
- Association BricoLowtech
- Les Ecolorés
- ICAM
- NéoLoco - Arnaud Crétot
- Collectif Paille Armoricaïn

CARTOGRAPHIE DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS

Les solutions proposées recouvrent uniquement le SCOPE 1, c'est-à-dire le bateau WeExplore. La figure ci-dessous montre les différents systèmes développés par les étudiants qui sont composés de sous-produits (Figure 4).

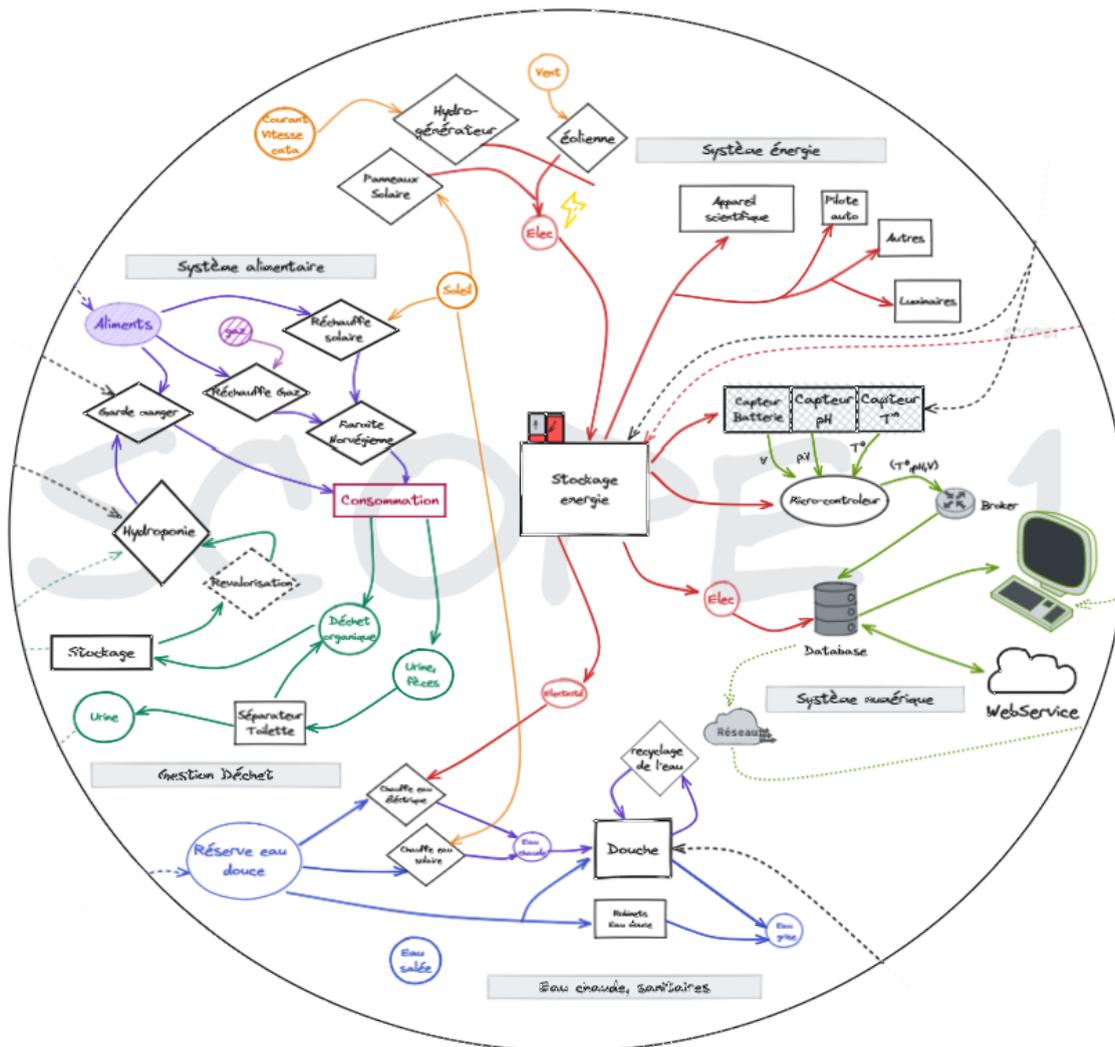


Figure 4 - Cartographie des systèmes étudiés

**Analyse des différents flux des systèmes étudiés**

Le schéma des SCOPES a permis aux étudiants d'identifier les flux internes et externes au SCOPE 1, leur objet de travail. Cela définit leur cadre d'action et les limites de la réflexion autour du projet.

La schématisation des flux d'un projet par SCOPE permet de délimiter le domaine d'action de l'équipe ainsi que de visualiser les contraintes extérieures au cadre du projet.

Une fiche méthodologique a été réalisée pour expliquer la schématisation SCOPE.

Pour le projet WELOW, sa complexité fait que nous avons choisi de scinder en 5 le schéma SCOPE. Un schéma global explique les interactions entre les SCOPES 1, 2 et 3, puis 4 schémas détaillent plus précisément les flux au sein de chaque système identifié dans le cahier des charges fonctionnelles.

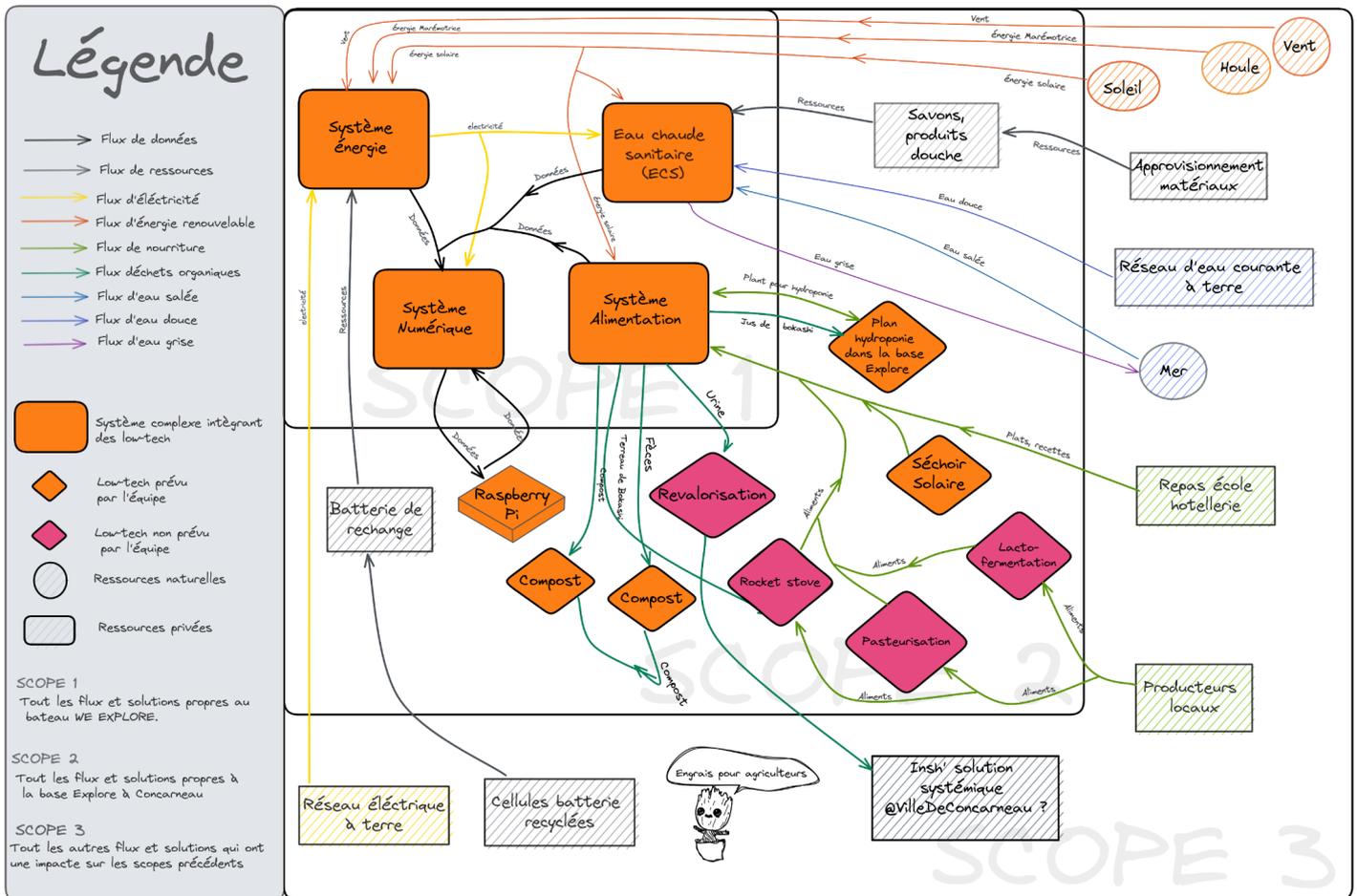


Figure 5 - Cartographie des systèmes étudiés

### Schémas des 4 systèmes étudiés

Les besoins ont été regroupés en 4 systèmes relativement indépendants ( par les différentes compétences et ressources qu'ils mobilisent: électronique, thermodynamique, mécanique des fluides...). Cette répartition permet aux étudiants de se répartir le travail et de décomposer le projet en parties moins complexes. Les schémas suivants détaillent les différents flux internes et externes de chacun des systèmes. Ils permettent de visualiser la richesse des interactions d'un système sur les autres.

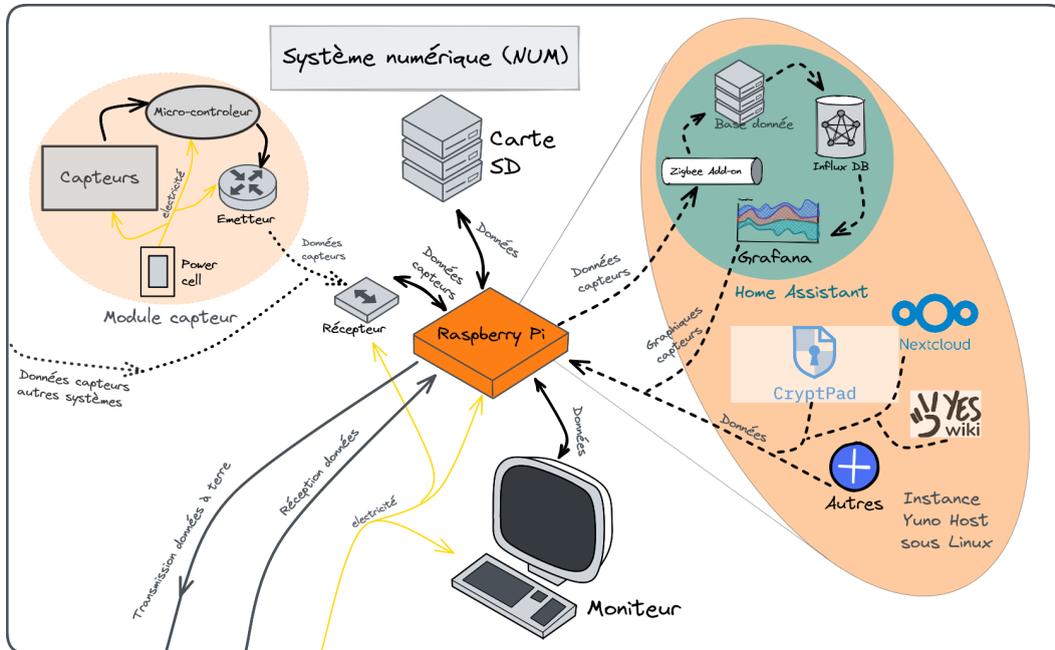


Figure 6 - Système numérique

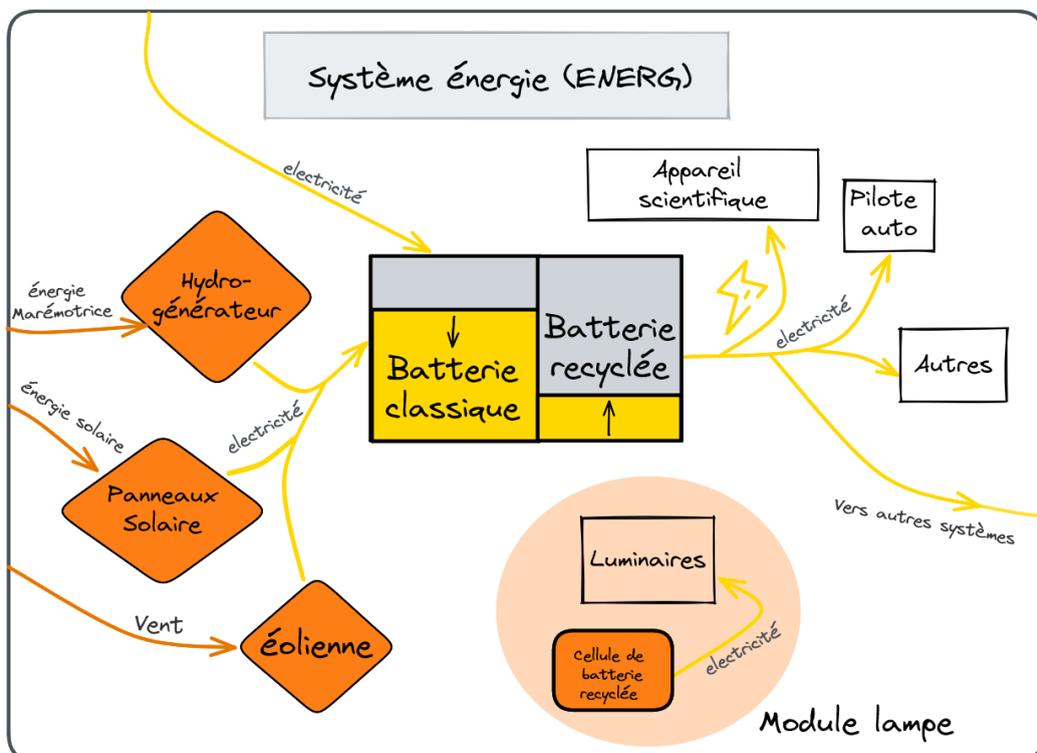


Figure 7 - Système énergie

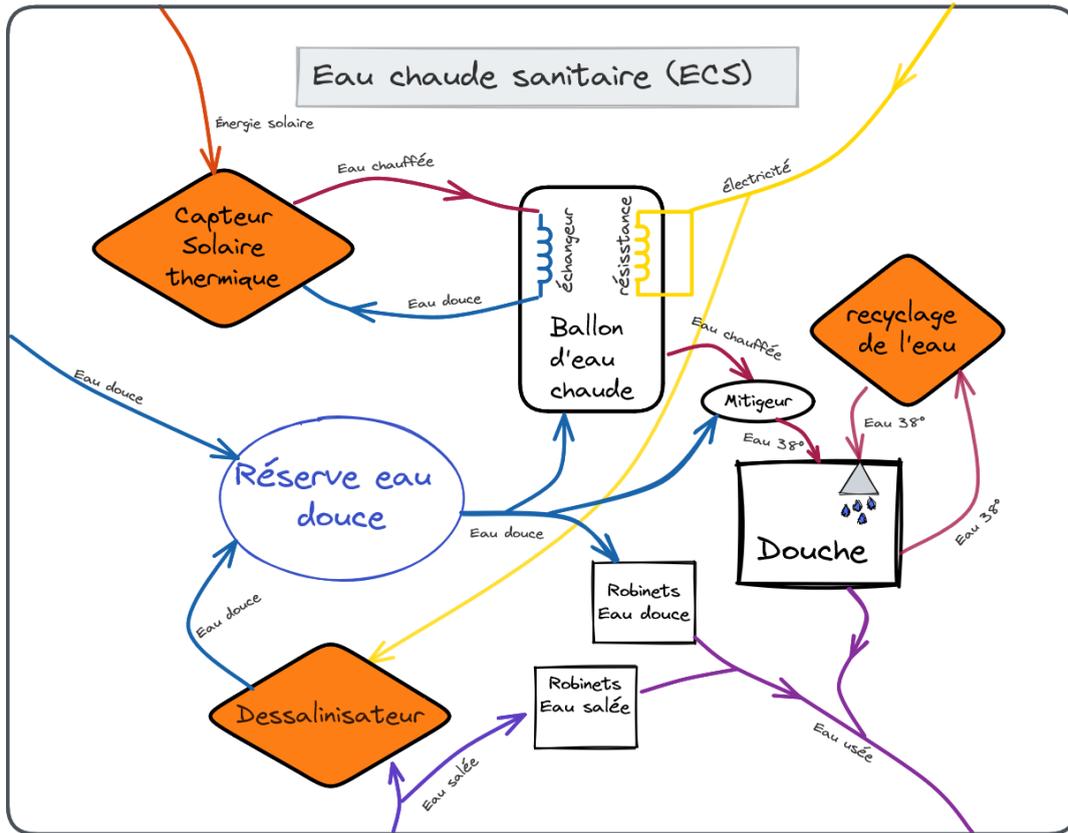


Figure 8 - Système Eau chaude sanitaire

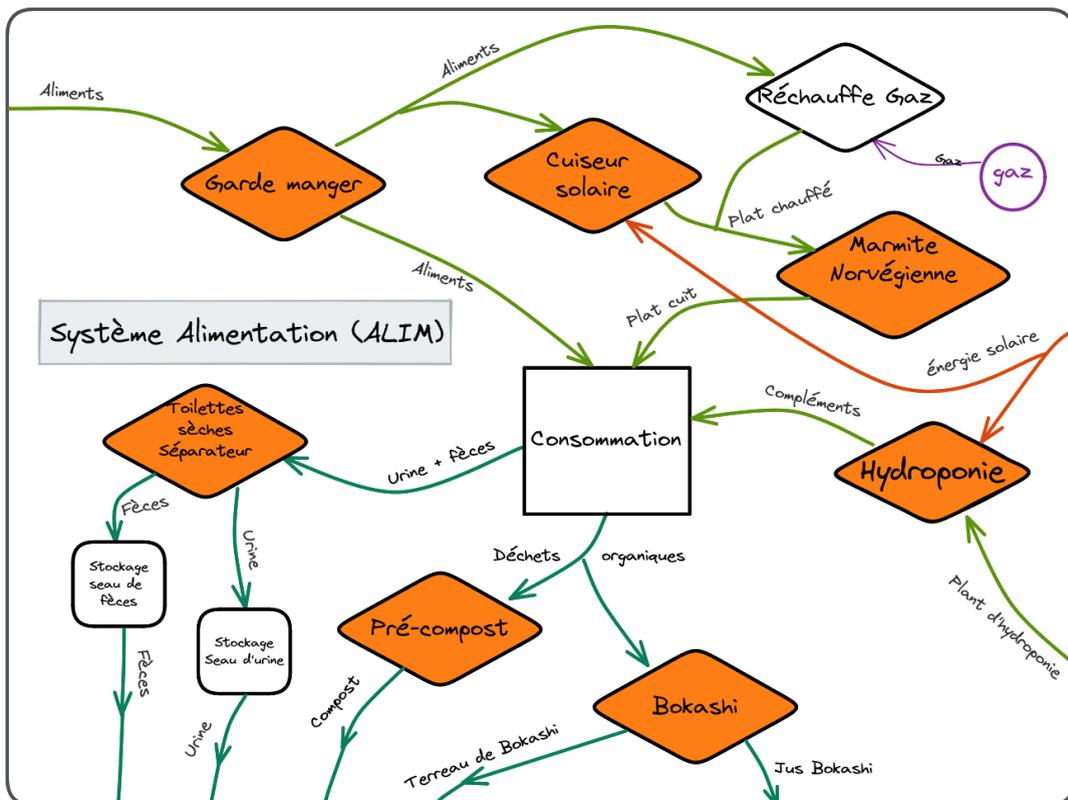


Figure 9 - Système alimentation

ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROJET CATAMARAN LOW-TECH

Le projet 2022-23 s'est concentré sur la première phase du processus de développement allant de la planification, à la conception détaillée de certains systèmes jusqu'au prototypage. Le tableau (ci-dessous) indique l'état d'avancement du programme et les grandes phases du projet. Le projet 2023-24 se situera sur la deuxième partie du processus de développement allant de la conception détaillée à l'industrialisation jusqu'à la capitalisation des différents systèmes.

Étapes / Système	Planification	Conception	Développement / Prototype / Essais	Transfert / Industrialisation	Revue produit et Capitalisation
Numérique	✓	✓	○		
Energie	✓	○			
Eau Chaude Sanitaire	✓	○			
Alimentation	✓	✓	○		

✓ : Étape validée

○ : Étape en cours

Tableau 3 - Etat d'avancement du projet catamaran low-tech

### Etat d'avancement des différents sous-systèmes

✓ : Étape validée      ○ : Etape en cours      ■ : Étape attendue pour cette année

	Planification	Conception préliminaire	Conception détaillée	Prototype / Essais	Evaluation produit
Livrables	> Pré-étude > Schéma solution besoin	> Etude de faisabilité > CdC fonctionnelles	> CdC technique > Modélisation des solutions	> Prototype fonctionnel	> Validation du produit > Evaluation environnementale

#### Système numérique

Partie capteur	✓	✓	○	■	
Partie gestion des données	✓	✓	✓	○	

#### Système énergie

Panneaux photovoltaïques	✓	✓	✓		
Eoliennes	✓	✓	✓		
Hydrogénérateur	✓	✓	✓		
Batteries upcyclées	○	○	○	○	

#### Système Eau Chaude Sanitaire

Capteur solaire thermique	✓	✓			
Stockage de l'eau	✓	✓	✓		
Système douche	✓	✓			
Dessalinisateur	✓	✓	✓		

#### Système Alimentaire

Cuiseur solaire	✓	✓	○		
Toilettes sèches	✓	✓	✓	○	
Bokashi	✓	✓	✓	○	
Sechoire solaire	✓	✓	✓	○	
Hydroponie	✓	✓	✓	○	
Marmite norvégienne	✓	✓	○		
Pré-composteur	✓	✓	✓	○	

Tableau 4 - Etat d'avancement des différents sous-système

## Les différents livrables du projet

Nous distinguons plusieurs livrables : le projet en lui-même, la vie de l'option et la diffusion de connaissances. Un des enjeux de la démarche low-tech est de partager les savoirs et savoirs-faire vers l'extérieur en source ouverte.

Voici la liste des principaux livrables remis et attendus autour du projet

- Plan qualité du projet
- Plan de communication
- États de l'art
- Pré-études des systèmes low-techs, définition des scopes et notes de calcul
- Études de faisabilité
- Cahier des charges fonctionnelles
- Cahiers des charges techniques des différents sous-systèmes
- Choix des technologies et pré-dimensionnement
- **Réalisation des prototypes**
- ...

Voici la liste des autres livrables autour de la diffusion de connaissances ::

- Site internet du projet : <https://low-techs.ec-nantes.fr>
- Récit des voyages effectués
- Page vitrine LinkedIn : <https://www.linkedin.com/showcase/centrale-nantes-ing%C3%A9nierie-des-low-techs/>
- Fiches synthèses et résumé de 6 livres fondateurs de la philosophie low-tech
- Fiches de cours sur différents sujets
- Un compte instagram pour diffuser le contenu de l'option à un public plus jeune
- Analyse de compétences centraliennes appliquées à la low-tech
- Divers visuels : synthèse du document de l'ADEME sur les low-tech, présentation de l'option ...
- Des captations vidéos du projet

## 6 RETOUR CRITIQUE

<p style="text-align: center;"><b>FORCES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apprentissage par projet (gestion projet, maturité, autonomie, interface entreprise/école)</li> <li>• Pluridisciplinarité des enseignements (ingénieur systémique)</li> <li>• Regard éthique - management durable</li> <li>• Formation axée compétences</li> <li>• Image de l'école : communication médias</li> <li>• Partenaire impliqué : EXPLORE, APALA</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>FAIBLESSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Administratif (€ , association, sorties)</li> <li>• Budget alloué à l'option (12 étudiants)</li> <li>• Infrastructure (FabLab, Local)</li> <li>• Enseignement des sciences humaines</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>OPPORTUNITÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Attractivité pour les ingénieurs - formation continue</li> <li>• Attractivité des entreprises et des collectivités</li> <li>• Employabilité &amp; métier d'avenir</li> <li>• Attractivité des étudiants - écoles</li> <li>• Écosystème : réseaux et rencontres - ouverture d'esprit</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>MENACES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de valeur/contenu</li> <li>• Image de la low-tech</li> <li>• Perte du leadership</li> </ul>

*Matrice SWOT de l'option LOWTEC réalisée en fin d'année pour la planification stratégique des prochaines années*

### BILAN SUR LA FORMATION

La phase de passation de projet a été l'opportunité pour l'équipe (enseignants, partenaires, étudiants) de mutualiser nos retours d'expériences sur le déroulement de la première année de l'option LOWTEC. Le but de la démarche est d'encourager la poursuite des points positifs et d'explorer les pistes d'amélioration mentionnées. Le retour d'expérience de la part des étudiants de l'option en fin d'année n'est pas anodin dans la formation : il permet de respecter le principe de **subsidiarité** consubstantiel à la démarche low-tech.

Voici quelques éléments non exhaustifs et pertinents (Tableau 8).

	Points positifs	Points à améliorer
	<p>Pédagogie par projet</p> <p>Cours avec APALA en première période. Cours capteur solaire, poêle de masse, design : plein de retours d'expérience donc trop bien</p> <p>Rencontre des acteurs et visites à garder (réseau, inspiration)</p> <p>Débat, conférences, philosophie : à garder (management responsable, intelligence collective, matinales obligatoires...)</p> <p>Découverte et exploration des low-tech : phase bien construite.</p> <p>TP soudage avec conception rocket stove de A à Z</p>	<p>Plus de cours techniques essentiellement. Se référer à la liste des cours à ajouter ou indispensables.</p> <p>Agencement des cours</p> <p>Plus de support : les prises de notes sont pas suffisantes : récupérer des docs/pdf/ powerpoints.</p> <p>Ajout d'une mise en contexte autour du projet au début de l'année (voile, navigation).</p> <p>Salle L001 trop petite pour 12 personnes</p> <p>Avoir un annuaire des enseignants selon leur expertise afin d'aller les consulter</p> <p>Attention à la redite entre les différents cours.</p>

<p><b><u>Explore</u></b></p> <p>Emmanuel : compétent en gestion de projet.</p> <p>Partenaires impliqués et concernés par le projet.</p> <p>Gros moyens financiers (pas de freins de ce côté là)</p> <p>Projet stylé : le voilier</p> <p>Se rendre sur site : un gros plus</p> <p><b><u>Engagement</u></b></p> <p>Projet en accord avec les valeurs</p> <p>Beaucoup de liberté</p> <p>Médiatisé</p> <p><b><u>ECN</u></b></p> <p>Équipe de choc</p> <p>Distance : les rapports évitent normalement de faire fausse route (CdC ...)</p> <p>Intéressant de savoir comment fonctionne un projet formel</p> <p>Liberté de la gestion de projet</p> <p><b><u>Evaluation</u></b></p> <p>Intérêt fort des étudiants pour l'évaluation par compétences (Expérimentation)</p> <p>Evaluation par les pairs</p> <p>Définition d'une grille de lecture entre compétences centraliennes et low-tech.</p>	<p>Difficulté de récupérer les données d'entrées au démarrage du projet.</p> <p>Disponibilité du client principal Roland Jourdain.</p> <p>Difficulté à être agile : mauvaise compréhension des attentes du client, multiplication des intermédiaires donc des points de vues, pas de lien direct avec Roland Jourdain. Changements de dernières minutes. La validation des solutions trop tardive.</p> <p>Plus de suivi côté école.</p> <p>Distance avec le client (et bateau pas disponible), difficulté de se rendre sur site (proximité = vrai plus). Difficultés administratives (voyages etc).</p> <p>Manque de contrôle de notre budget : Argent géré par une association tiers ? (BDE ou autre). Moyens financiers très limités</p> <p>Plus de prototypage, de fabrication dès le début du projet. Pas de place pour l'essai/erreur.</p> <p>Phases de creux et quantité de travail</p> <p>Distinguer rendu projet et école, sans faire trop de redondance. Se poser les bonnes questions avant de commencer à rédiger : qui est le destinataire ? livrable interne ou externe ?</p> <p>Evaluation par les compétences à développer</p>
---	---

Tableau 8 - retour d'expérience

## BESOINS

Dans la continuité du principe de subsidiarité, l'équipe low-tech souhaite exprimer ses besoins, suite aux difficultés qu'elle a pu rencontrer tout au long du projet, en particulier concernant les infrastructures :

### - Un fablab low-tech à l'école Centrale Nantes

*Expérimenter* est une étape clé de la démarche low-tech. Le concept de fablab ou tiers-lieu type makerspace est adapté à ce besoin. Il permettrait à tous les étudiants de l'ECN dont ceux de l'option LOWTEC d'aller prototyper les systèmes imaginés, de tester des composants, d'apprendre en faisant. Nous savons ô combien le travail manuel est primordial dans l'appréhension d'un système technique (cf. livre [Shop Class As Soulcraft - An Inquiry into the Value of Work](#), Matthew Crawford). Nous recommandons pour cela d'avoir :

- Un espace suffisamment grand pour ne pas risquer de gêner les manipulateurs
- Un stock d'outils manuels/télé portatifs
- Un lieu de stockage des prototypes en cours

- Une personne référente, compétente pour encadrer l'utilisation des outils et responsable du fonctionnement du lieu

Pour connaître plus précisément le cahier des charges fonctionnel d'un fablab low-tech, nous vous recommandons la lecture du P2E 2023 réalisé.

#### - **Un lieu de travail/réunion**

Le local L001 a été le lieu de travail, de réunion, de salle de cours et d'accueil des intervenants durant l'année 2022-2023. Néanmoins, le local L001 est sous-dimensionné pour accueillir plus de 6 étudiants.

Pour 12 étudiants, nous présentons le besoin :

- d'avoir deux pièces communicantes **insonorisées** suffisamment grande pour accueillir tout le monde
  - une pièce de lieu de réunion/travail de groupe/salle de cours avec rétroprojecteur
  - une pièce de travail open space/calme, 1 table par personne.

Nous insistons sur la qualité acoustique des salles. Une pièce résonnant au quotidien pour enseigner, travailler en groupe, organiser des réunions est très handicapante pour se comprendre et fatigue à long terme.

Chaque pièce devrait être équipée d'un tableau blanc, de zone de stockage sécurisé. Dans une pédagogie par projet, l'instauration d'un cadre convivial ne devrait pas être négligée (canapé, espace pour échanger de manière informelle).

#### - **Un budget**

Le budget alloué à une option projet est aujourd'hui fixé à 2000€/an quelque soit le nombre d'étudiants. *Explorer* fait parti des piliers de la démarche low-tech. Cela passe en partie par se déplacer pour aller à la rencontre d'acteurs de la low-tech. Il y a également les visites chez le client.

Ces déplacements engendrent des coûts de *transport* et de *logements*, dont nous savons qu'il ne sera pas possible d'honorer avec le budget initial dans le cas d'un projet à plus de 6 élèves.

C'est pourquoi, il y a une nécessité d'obtenir des fonds rapidement dès le début pour ne pas mettre en péril la phase d'exploration de la démarche low-tech.

De plus, les démarches administratives liées au budget sont contraignantes : pour choisir des solutions alternatives moins coûteuses, nous devons souvent avancer les fonds de notre poche. Le bon déroulement des sorties et visites dépend alors de la capacité des étudiants à avancer plusieurs centaines d'euros qui ne seront remboursés que de nombreux mois plus tard. Il serait donc primordial de réfléchir à une solution pour simplifier ces démarches.

L'ENSEIGNEMENT

## L'enseignement vécu

### Méthode pédagogique : Apprentissage par projet

Les cours de l'option ingénierie des low-techs se sont déroulés sur 3 périodes avec un volume horaire total de 192 heures. Ils sont découpés en trois parties.

Le principe de cette option repose sur l'apprentissage par projet. La réalisation de ce catamaran low-tech doit permettre aux étudiants de compléter leur formation sur le terrain. Ils devaient également se former eux-mêmes sur les points qui ne seront pas abordés dans les enseignements.

### Structure de l'option

- 5 cours communs de 32 heures
- 1 cours à la carte de 32 heures
- 192 heures de formation
- 408 heures de projet
- Total formation = 600 heures (39 ECTS)
- 6 étudiants

Période 1	Période 2	Période 3
<p><b>Découverte &amp; Exploration des Low-techs</b></p> <p>EXPLORE 64 heures</p>	<p><b>Conception &amp; Fabrication Low-tech</b></p> <p>COFALOW 64 heures</p>	<p><b>Approfondissement des Low-techs</b></p> <p>HORIZONS 32 heures</p>
		<p><b>Expertise technique et scientifique</b></p> <p>Cours au choix 32 heures</p>
<p><b>Projet catamaran low-tech</b></p> <p>LOWTEC 1, 2, 3 408 heures</p>		

Tableau 5 - Blocs d'enseignements

### Répartition de la charge des enseignements

- Principe général
  - 20 heures de projet / semaine / étudiant (réparties sur toute l'année)
  - 5 à 9 heures de formation / semaine (en moyenne)

## Recul critique

Nous avons assisté à de nombreuses conférences sur les low-tech, le rapport à l'enseignement, des retours sur les formations qui existaient. La formation en étant à sa première année, il est nécessaire de fournir un regard critique sur la formation et les cours proposés. En suivant les cours tout au long de l'année, en tant qu'étudiants, nous avons synthétisé dans un tableau le détail de ces cours suivis.

Nous avons ensuite donné un retour d'expérience à M.Benguigui sur notre ressenti : quels cours étaient pertinents ou superflus, ce qui nous a manqué dans notre formation ou ce qui, au contraire, faudrait garder pour les années suivantes.

Ce retour d'expérience est disponible en annexe sous forme de tableau.

## **Les points positifs**

Voici des points positifs majeurs du parcours qu'il faut conserver pour les prochaines années. Notre formation, comme présentée au forum low-tech, s'est déroulée en trois étapes :

- Exploration : Phase essentielle composée du voyage vélo et du séminaire à Concarneau, son but est d'appréhender le concept de low-tech tout en renforçant la cohésion de l'équipe. Cette culture low-tech est enrichie toute l'année avec la rencontre de nombreux acteurs et notre présence à plusieurs conférences, forums, séminaires...
- Expérimentation : Conception de prototypes afin de mettre en pratique ce qui a été appris au cours de l'année. Cette phase permet de se rendre compte de ce qui fonctionne en réalité vis à vis de ce que l'on a conçu, elle est très riche en enseignements notamment pour appréhender le concept de l'innovation sous contrainte et de la réaction face à l'imprévu.
- Valorisation : Intervenant en fin de projet, l'objectif est de capitaliser et de transmettre ce que l'on a appris au cours de l'année, de le mettre à disposition de tous. Cela se fait par exemple via notre site internet.

## **Un triptyque nécessaire**

Il nous semble pertinent de tirer une conclusion sur l'enseignement des low-tech dans l'enseignement supérieur. Proposer un apprentissage complet, appréhendant la complexité des compétences que vise à développer une formation low-tech, demande d'orienter le contenu pédagogique en respectant un triptyque d'apport pédagogique:

- **Technique**

*L'ingénieur low-tech doit garder cette rigueur technique, ce recul sur le fonctionnement des systèmes, sur les modèles physiques, mathématiques, industriels. Ces connaissances lui permettent de créer de la valeur et d'innover. C'est aussi nécessaire pour appréhender la complexité de notre système socio-technique, afin de pouvoir évoluer au sein de celui-ci et de l'influencer par des choix techniques pertinents.*

- **Philosophique**

*On parle ici de débats, de cours sur la philosophie de la technique, la neutralité de la technique, sur des connaissances de notre modèle économique, méta-économique, sur les valeurs du monde industriel. Cet aspect est bien trop souvent négligé dans la formation. Cependant, l'ingénieur d'aujourd'hui est politique. Dans notre société techno-centrée<sup>7</sup>. L'ingénieur, qui conçoit la technologie se doit d'avoir une vision holistique, systémique de son travail. L'ingénieur low-tech, en particulier, puisqu'il porte des valeurs fortes d'empouvoirement, de réappropriation de la technique, doit avoir ces cours dans son programme pédagogique. Cela ne veut pas dire politiser ces enseignements, mais transmettre des valeurs en amenant des réflexions systémiques dans les enseignements de la formation low-tech.*

- **Pratique**

*“La low-tech, c'est du bricolage”, l'adage mis en avant par les médias ne s'étant pas penché sur le sujet des low-tech peut s'interpréter comme : la low-tech, c'est transmettre des techniques et des solutions pour qu'elles soient accessibles, répliquables au plus grand nombre, elles sont donc d'une complexité moyenne voir faible. Cela veut dire qu'il faut que l'ingénieur low-tech passe par de nombreux essais-erreurs, modèles, expériences afin d'optimiser la technique et de chercher le meilleur compromis entre impact et performance. De ce fait, nous jugeons primordial de garder cet aspect pratique dans les formations low-tech. Cela se traduit par la gestion d'un projet, des travaux pratiques, du “bricolage”, des prototypages, afin d'apprendre de ses erreurs.*

## L'ÉVALUATION PAR COMPÉTENCE

### **L'ambition de la formation low-tech**

Cette année a vu le jour l'option projet low-tech. Son but est de former des ingénieurs capables de faire face aux enjeux environnementaux et sociétaux auxquels fait face notre système socio-technique actuel, grâce aux low-tech (questionnant l'utilité, soutenable et accessible).

Cette formation est ambitieuse, à la pédagogie par projet s'ajoute le choix d'une méthode d'évaluation par compétence. Pour cela, l'option doit faire preuve d'un cadre et d'une rigueur qui, bien que respectant la simplicité low-tech, lui permette d'assumer une légitimité dans les enseignements du supérieur, et de ne pas être perçu comme un atelier/formation. Il faut que le cursus arrive à convaincre (d'abord ses étudiants, puis son école, puis le grand public) qu'il forme ces étudiants avec la pluralité, la qualité et le recul technique demandés des formations d'ingénieurs Centraliens. Il faudrait même réussir à convaincre qu'il forme des ingénieurs qui appréhendent la complexité du système socio-technique, et les responsabilités liées aux métiers techniques en acquérant un prisme de lecture développé par la philosophie low-tech.

### **Pourquoi l'évaluation par compétence ?**

---

<sup>7</sup> société techno-centrée puisque nos politiques s'orientent vers des valeurs d'innovation et de progrès technique pour répondre aux enjeux économiques, environnementaux, sociaux d'aujourd'hui. Les modèles et perspectives politiques se basent donc sur le travail et les simulations de progrès technique.

- Ce choix se comprend par l'articulation spéciale de la formation qui **rend aisément praticable** la notation par compétence.
- Ce système est **beaucoup plus valorisant pour l'étudiant**, qui prend alors conscience de ses acquis et des ressources qu'il possède. L'étudiant se situe dans son apprentissage.
- Ce système favorise l'apprentissage en situation, le *Learning by doing*, ce côté pratique est nécessaire pour la low-tech.
- Le **groupe Centrale montre sa volonté de réformer son système d'évaluation** en s'orientant vers une évaluation par compétence. Cependant sa mise en place est longue et nécessite une forte formation et sensibilisation du corps enseignant.

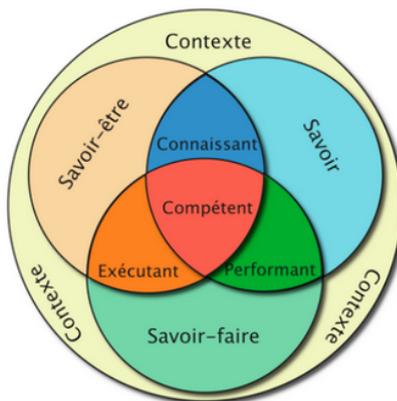


Figure 1 : Approche Par Compétence  
[GHAZEL2012]

Selon Tardif, une compétence est un savoir-agir complexe, prenant appui sur la mobilisation et la combinaison de ressources internes et externes dans une situation donnée.

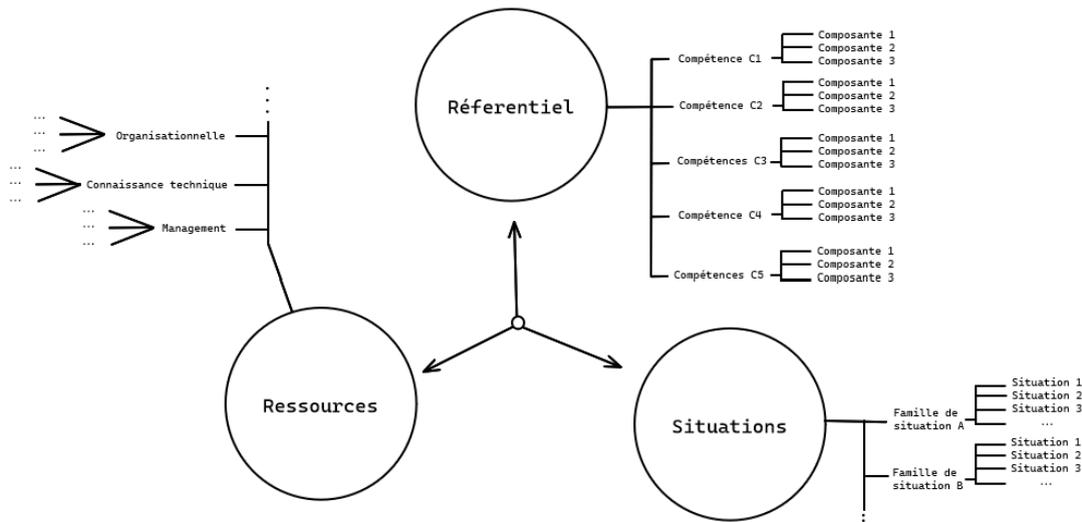
On retient que pour se faire évaluer, nous avons besoin d'un référentiel de compétences, nous avons besoin d'être confrontés à des situations adaptées pour rencontrer la diversité de chacune des compétences, et d'identifier les ressources que nous mobilisons et combinons.

## Comment évaluer par compétence ?

Nous nous sommes acculturés à la notion de compétence et d'évaluation par compétence en s'appropriant un corpus de travaux <sup>8</sup>.

Bien que le groupe Centrale ait entamé un important travail sur l'évaluation par compétence, **celui-ci n'est pas terminé**. Selon F.Georges et M.Poumay, il faut encore finaliser le référentiel avec des familles de situations, celles-ci permettront d'appréhender et de rencontrer la complexité des composantes. Pour les élèves, il est aussi important d'identifier les ressources et les situations dans lesquelles ils évoluent.

<sup>8</sup> *Approche Par Compétences - Principes, méthodes et illustrations -*, Prof. Marianne Poumay, LabSET – Université de Liège  
*Guide d'accompagnement à la rédaction du référentiel de compétences du B.U.T. en contexte d'APC1,2*  
*Approche Par Compétence - Grille de lecture*, Gwénaëlle Le Mauffe, Jean-Yves Martin  
*Low-tech + Sustainability, Deliverable report*, S. Osonunga, B. Delinchant, L. Jossic, Y. Bultel



*Schéma des 3 piliers nécessaires pour évaluer par compétences*

Accompagné par notre référent de formation, pour mettre en place ce système d'évaluation, nous avons eu une **triple démarche de travail**:

- **Questionner les référentiels centralien et low-tech** (voir corpus note 7) afin d'étudier la compatibilité des low-tech avec les compétences d'une école ingénieur du supérieur.
- D'un point de vue enseignant:
  - Nous avons **établi les familles de situations** afin d'orienter le contenu pédagogique vers une plus grande richesse d'apprentissage.
  - Nous avons **adopté un jeu de critères et une méthodologie d'évaluation**.
  - Nous avons **produit un guide** relatant de ce travail, dans l'optique de faciliter l'évaluation l'année prochaine en sensibilisant dès la rentrée la prochaine promotion.
- D'un point de vue élève, nous avons **été évalué sur une compétence** dans le cadre établi ci dessus en testant plusieurs formats:
  - L'entretien au semestre 1.
  - Le portfolio/ rapport écrit au semestre 2.

### Questionner les référentiels centralien et low-tech

Il est important de développer le point qui suit. Le cursus low-tech ne cherche pas simplement à former un ingénieur centralien, mais il cherche à former un ingénieur centralien "low-tech", il se démarque non pas uniquement par différentes compétences techniques, mais aussi par son approche à l'ingénierie et à la société. Cela met en évidence le besoin d'aborder le référentiel centralien avec cette approche "low-tech".

Il ne s'agit pas de définir un référentiel pour le cursus low-tech. Ce travail a déjà été réalisé par une commission internationale *low-tech + sustainability* (Note 7). Elle a créé, de la même manière que le groupe Centrale, des compétences que doit posséder un ingénieur des low-tech. Nous nous sommes aussi inspirés de la grille de compétence réalisée par *EcoCloud*<sup>9</sup>.

Notre travail a d'abord été de *simplifier le référentiel low-tech*<sup>10</sup>. Cela nous a servi pour comparer les référentiels low-tech et centralien. Cette comparaison s'intéresse aux valeurs que transcrivent ces deux référentiels, ainsi qu'aux familles de situations qui seront retenues.

		Vision systémique et prospective: A l'aide d'une approche historique et d'une bonne compréhension des enjeux de notre époque, adopter une vision holistique du système Terre. Avoir une approche prospective			Conception durable : Mobiliser les techniques de l'ingénieur en vue de répondre aux objectifs sociaux et environnementaux			Actions collectives: Accompagner les changements de comportements. Mobiliser des acteurs et mettre en oeuvre collectivement des projets ancrés dans un territoire, avec une démarche responsable.			Ethique de l'ingénieur : Réfléchir au rôle de l'ingénieur, son rapport à la technique, être conscient de ses choix et de ses responsabilités.	
		Pensée Systémique	Pensée à long terme / anticipatrice	Pensée stratégique	Connaissances thématiques	Résolution de pb. pluri-disciplinaires	Mise en oeuvre (conception, action et évaluation)	Gestion des biens communs et de solution d'échelles	En pilotant un projet, une équipe	En partageant et modifiant les comportements	Compétence intra-personnelle /auto efficacité	Pensée éthique et de valeurs
C1	en faisant émerger en osant	X					X					
	en concrétisant et créant de la valeur		X	X			X					
C2	en représentant et modélisant				X		X			X		
	en résolvant et arbitrant en pensant et agissant en environnement imprédictible et incertain	X				X						
C3	en concevant un projet, un programme						X		X		X	
	en conduisant un projet, un programme en clôturant et capitalisant	X	X				X			X		
C4	en se connaissant, en se construisant										X	
	en gérant de la performance individuelle et collective en conduisant les transformations dans son organisation	X							X			X
C5	en anticipant et en s'engageant		X									
	en donnant du sens en construisant et pérennisant		X	X								X

Tableau x: Comparatif des référentiels centraliens et low-tech

Quelques analyse de ce tableau:

### Constats:

- On observe un **recoupement des composantes** (les croix X cases vertes foncées). Le référentiel low-tech exprime la diversité des composantes du référentiel centralien et vice-versa.
- On observe que **chacune des compétences est globalement exprimée par une compétence de l'autre référentiel**.

### Analyses:

- Les compétences des deux référentiels sont similaires, le passage d'un référentiel à un autre n'est alors qu'un **changement de paradigme**.
- La low-tech est bien une démarche, une philosophie qui forme des ingénieurs. Son **enseignement est légitime** dans les écoles d'ingénieurs.
- Il semble possible **d'utiliser le référentiel low-tech pour orienter le contenu pédagogique** de la formation low-tech, afin d'appréhender la complexité des ses valeurs et de ses compétences. Mais de **garder une évaluation orientée uniquement sur les composantes centraliennes**, puisque c'est le référentiel global sur lequel nous devons nous faire évaluer afin de nous délivrer

<sup>9</sup> EcoCloud - Plateforme de mise en commun de ressources pour une **industrie de demain responsable et citoyenne**.

<sup>10</sup> Vous trouverez en annexe le référentiel établi

notre diplôme. La complexité des familles de situations ainsi créées fourniront bien autant de situations pour appréhender la complexité des compétences du référentiel de centrale.

## Point de vue enseignant

Les objectifs de cette prise de point de vue par notre équipe d'étudiante sont :

- Prendre du recul sur les **notions d'évaluations**
- Prendre du recul sur notre formation d'ingénieur low-tech (c'est sa première année) afin d'avoir un **retour critique plus riche**.
- Établir, avec notre référent Jean-Marc Benguigui, une **méthode d'évaluation adaptée à notre formation**.

Tout d'abord, nous avons **établi les familles de situations**, afin d'exprimer la complexité des composantes, et s'assurer que le contenu pédagogique et les ressources internes et externes pour 2023/2024 rencontrent toutes les familles.

Voici le plan que nous avons suivi pour établir les familles:

1. *Pour chaque composante, lister les situations que nous avons rencontrées.*
2. *Croiser ces situations entre les composantes pour enlever les doublons.*
3. *Regrouper ces situations en 2 à 4 familles de situations par compétence.*
4. *Lister quelques ressources pédagogiques et valeurs/ concepts par familles.*
5. *Regarder ce qui manque dans le contenu pédagogique.*

Ce travail est bien sûr non exhaustif et personnel, mais il permet néanmoins de corriger certains cours et d'exprimer des besoins en infrastructures, en cours, en ressources.

Ensuite, nous avons **adopté un jeu de critères et une méthodologie d'évaluation**. Cela signifie, déterminer des critères pour évaluer le discours ou les preuves de ses élèves pour affirmer leur montée en compétence. Et nous rappelons la logique pour monter en niveau dans une compétence.

2. L'évaluation	
<b>Critères d'évaluation</b>	<b>Critère de validation d'un niveau de compétence</b>
Validité	<i>Adapté au niveau annoncé</i>
Authenticité	<i>Fiabilité, preuve incontestablement personnelle...</i>
Profondeur	<i>Niveau d'aboutissement de la preuve, par rapport aux indicateurs de niveaux.</i>
Etendue	<i>Diversité, complexité de la situation professionnelle.</i>
Argumentation	<i>Maturité, honnêteté de l'argumentation.</i>
Évaluation favorable	<i>L'étudiant montre bien une maturité et un recul suffisant sur ce qu'il a appris. Sa justification est jugée acceptable.</i>
Chacune des familles de situations rencontrées.	<i>Cela justifie que l'on a bien appréhendé la complexité de la compétence.</i>
Montée en niveau dans chacune des composantes.	<i>Chacune des composantes doit être justifiée à un niveau A pour prétendre un niveau A dans la compétence.</i>

Figure x: Extrait du guide sur l'évaluation par compétence de la formation low-tech

Enfin, nous avons **produit un guide** relatant de ce travail, dans l'optique de faciliter l'évaluation l'année prochaine en sensibilisant dès la rentrée la prochaine promotion. Vous le trouverez en annexe.

### Point de vue élève

Ce travail d'évaluation par compétence est arrivé en fin de premier semestre. Alors comment s'est déroulée notre évaluation avant et après ?

- Nous avons été évalué sur notre **capacité à restituer nos acquis** et notre travail à des personnes extérieures ou intérieures au projet, lors des forums, fête de la science.
- Nous avons été évalué sur notre **capacité d'autonomie et de gestion du projet WELOW**, par le client Explore ainsi que par Jean-Marc Benguigui, lors de nos réunions hebdomadaires, ainsi que les quelques entretiens d'avancement de projet.
- Nous avons été évalué sur la **qualité de nos livrables**, en particulier visuels.
- Nous avons été évalués lors de notre **conférence pendant le forum low-tech**.

Ce sont des preuves qui peuvent être maintenant regardées au travers du prisme d'évaluation que nous avons établi. C'est pourquoi nous avons pu être évalués et justifier d'une montée en compétence lors de deux occasions.

La première occasion fut un entretien oral pour justifier de la montée en niveau d'une compétence. Nous nous sommes réparti le travail, ayant chacun travaillé sur les familles de situations d'une compétence, nous avons construit notre discours de justification pour chacune des composantes de cette compétence. Cet entretien dura entre 30 min et 1h, où furent présents Gwénaëlle Le Mauffe et Jean-Yves

---

Martin, les référents de l'évaluation par compétence à Centrale Nantes, que nous remercions pour leur présence.

La seconde occasion est la rédaction d'une justification écrite. Cela permet d'essayer un nouveau support, mais surtout d'ancrer sur papier la méthodologie et de fournir des exemples concrets pour l'année prochaine.

## Conclusion

Nous voyons l'évaluation par compétence comme un moyen adapté de redonner de la valeur aux systèmes d'évaluations actuels. L'évaluation par compétence permet de **dépasser la notion de note**, qui est trop souvent perçue par les étudiants comme la finalité d'un apprentissage. Dépasser cette vision permet de prendre conscience des enjeux de sa formation et des compétences que l'on développe. **D'être acteur conscient** de leur développement. C'est valorisant.

Cependant sa mise en place demande un travail colossal triple:

- **L'élaboration d'un référentiel de compétence** complet.
- **L'appropriation du sujet par le corps enseignant** afin de réfléchir aux familles de situations, structurer les contenus pédagogiques, les accès aux ressources, aux modules de formations, afin d'assurer que les étudiants pourront bien accéder à des situations d'apprentissages balayant la totalité de la complexité des compétences que l'on vise à développer.
- **Créer des moyens<sup>11</sup> et des structures pour sensibiliser les étudiants**, leur permettre de s'approprier la méthode d'évaluation sans trop de degrés de complexités, et peut-être leur donner un rôle dans la mise en place de ce système d'évaluation.

Enfin, nous souhaitons souligner que cet étude par compétence met en lumière l'intérêt d'enseigner les low-tech dans des écoles du supérieur, puisqu'elles appréhendent la complexité des compétences d'un ingénieur avec un paradigme de soutenabilité et de conscience des enjeux écono-socio-technique bien nécessaire pour faire faces aux crises actuelles.

---

<sup>11</sup> Beaucoup de moyens existent, notamment la notion de Portefolio, de Portfolio web.

## 7 RETOUR CRITIQUE SUR LA COMMUNICATION

### COMMUNICATION

Une des missions demandée aux étudiants par la note de cadrage des options projets est la capacité de communiquer autour d'un projet. Ils ont ainsi participé à la fête de la science, à la journée porte ouverte, au forum Horizon, au forum des options et au forum low-tech en présentant leur travaux. Ils ont également répondu aux nombreuses sollicitations de l'extérieur, comme les rencontres avec le Crédit Agricole ou Goodwill management. De nombreux échanges par messagerie ou visio-conférences d'entreprises, grandes écoles ou étudiants ont eu lieu. Les étudiants ont été sollicités par les médias et par notre service communication pour la réalisation d'une vidéo de promotion de l'option.

Vous trouverez dans l'[annexe 1](#) un récapitulatif de la communication réalisée sur les réseaux, de nos interventions ainsi que la parution des articles dans la presse.

Nos objectifs de communication sont consignés dans notre plan de communication.

*From High to Low, that's the way without choice !*

*Le 25 janvier, une quinzaine de membres du socle #mainframe de @Crédit Agricole Group Infrastructure Platform a partagé un temps important avec la section projet @Centrale Nantes - Ingénierie des low-techs .*

*Un temps formidable, riche d'enseignements, où chacun a accepté de sortir de sa zone de confort / de son quotidien pour se développer.*

*Nous avons reçu des futur(e)s ingénieur(e)s :*

- *une meilleure définition de la low-tech*
- *une présentation du projet, de ses enjeux, de ses difficultés et de sa méthodologie*
- *et très important, les motivations « inspirantes » qui amènent les étudiants à s'engager dans cette voie d'avenir*

*Nous avons essayé de donner :*

- *un retour de nos expériences sur leurs difficultés (ouvrir des alternatives)*
- *une présentation simple de nos environnements*
- *un partage de nos activités / nos enjeux « métiers »*

*Nous avons travaillé ensemble sur la définition des éléments essentiels et des pistes d'optimisations/améliorations grâce à un regard extérieur et constructivement critique.*

*De mon point de vue, la low-tech et la mise en responsabilité sur l'impact #RSE doit devenir incontournable de toute filière enseignant l'ingénierie.*

*Un sincère et grand MERCI à l'ensemble des participants !*

*Crédit Agricole - Mathieu Porrion - 25 janvier 2023*

Tableau 2 - Témoignage du Crédit Agricole de la rencontre avec les étudiants de l'option LOWTEC

## LE FORUM LOW-TECH

Le forum low-tech a eu lieu le 21 mars 2023. Avec près de 400 visiteurs, sa première édition est un succès néanmoins il reste certains points qui peuvent être améliorés pour les éditions suivantes :

- L'organisation devrait être gérée par les étudiants de l'option LOWTEC et non IEEO car ce projet demande beaucoup de temps et d'investissement, ce qui n'est pas forcément possible en IEEO où le travail de projet n'est que d'un après-midi par semaine.
- Il manquait de la nourriture : en prévoir pour les intervenants, voire visiteurs, de l'année suivante.
- La communication est arrivée un peu tard : communiquer 6 mois avant l'événement afin de recruter des intervenants et 1 mois avant pour viser le public.
- Si des difficultés sont rencontrées ne pas hésiter à contacter les organisateurs du Forum Horizons (le président de l'édition 2023-2024 est Noé Sauzede)
- [https://drive.google.com/drive/folders/1ZFpCVRSaSoh\\_az8g7SWmJdTbqhdHptsY](https://drive.google.com/drive/folders/1ZFpCVRSaSoh_az8g7SWmJdTbqhdHptsY)

## LA PRESSE

Dès l'ouverture de l'option, nous avons été sollicités par la presse nationale, régionale et spécialisée. Nous sommes apparus dans 12 articles, 1 podcast et 1 passage sur le JT de France 3 Bretagne.

Ces nombreuses interviews nous ont permis d'assumer un discours avec de plus en plus de recul sur le projet WELOW et la place des low-tech dans les formations du supérieur.

Date	Media	Titre	Auteur	Lien	Lecture
26/09/2022	Low tech journal	Petit encadré sur notre option dans le journal (voir p7)		<a href="#">Ici</a>	Libre
17/10/2022	Low tech Lab blog	La low-tech trouve sa place dans les cursus d'écoles d'ingénieurs	Low-tech Lab	<a href="#">Ici</a>	Libre
19/10/2022	Le Monde Campus	Les pionniers de la transition	Margherita Nasi	<a href="#">Ici</a>	Abonnés Le Monde
05/11/2022	Presse Ocean	Route du Rhum : la course à la sobriété de l'école Centrale de Nantes	Rémi Certain	<a href="#">Ici</a>	Abonnés Presse ocean
01/01/2023	cahier des tendances de l'enseignement supérieur		Julie Lanique	<a href="#">Ici</a>	
04/01/2023	La relève et la peste	A Nantes, une école d'ingénieurs propose la première formation française autour des low-tech	Elouan Ameline	<a href="#">Ici</a>	Libre
05/01/2023	L'Hyppocampe	La low-tech à Centrale Nantes	Jean Luc Sielidis	<a href="#">Ici</a>	Adhérents Centrale nantes alumni
14/02/2023	Télégramme	À Concarné, le Campus Explore forme aux enjeux environnementaux	Guirec Flécher	<a href="#">Ici</a>	Abonnés le Télégramme
15/02/2023	Ouest France	Concarné. Des équipements astucieux et écolo pour le catamaran de Roland Jourdain	Camille PINEAU.	<a href="#">Ici</a>	Abonnés Ouest Fance
16/02/2023	France 3 Bretagne	Dans le JT de 19h, des étudiants construisent des solutions utiles, accessible et durable.		<a href="#">Ici</a>	Abonnés France TV
18/02/2023	Télégramme	À Concarné, les futurs ingénieurs se forment à la low-tech	Guirec Flécher	<a href="#">Ici</a>	Abonnés le Télégramme
16/02/2023	WE Demain			<a href="#">Ici</a>	Acheter 7€
17/02/2023	Podcast Le Chantier	Les technologies "low tech" enseignées aux élèves ingénieur.e.s	Christophe Chauveau et Capucine Frey	<a href="#">Ici</a>	Libre
21/03/2023	Presse Ocean	Le bateau du futur imaginé par les élèves ingénieurs de l'école Centrale Nantes	Rémi Certain	<a href="#">Ici</a>	Abonnés presse océan

Tableau récapitulatif de la presse sur la formation low-tech de l'école Centrale Nantes

## « Former des jeunes capables de relever les défis climatiques » : ces grandes écoles pionnières de la transition

Margherita Nasi

**Peu à peu, les formations d'ingénieurs ou de commerce intègrent les enjeux écologiques et sociaux dans leurs enseignements. Certaines s'engagent même dans une profonde mue académique.**

**P**eut-on, en école d'ingénieurs, imaginer le futur non pas sous le prisme des hautes technologies, mais à travers la sobriété et la résilience ? A Centrale Nantes, six jeunes ont fait ce pari. Un projecteur diffuse sur le mur de la salle de cours l'image du premier catamaran fabriqué à partir de fibres de lin, We Explore. Conçu par le navigateur Roland Jourdain, il participera à l'édition 2022 de la Route du rhum, dont le coup d'envoi sera donné le 6 novembre. Quand le bateau sera revenu de sa course transatlantique, les étudiants devront l'équiper avec des solutions simples, robustes, facilement réparables. « Ici, nous formons des ingénieurs capables de relever le défi climatique et toutes les crises associées », affirme Jean-Marc Benguigui, responsable de l'option « ingénierie des low-tech ».

Ses élèves sont à l'image de ce nouveau programme, lancé en septembre : pio-

nniers et engagés. Auriane Raffénot et Ilan Vermeren rentrent d'une année de césure. La première était en service civique au sein d'une association qui œuvre à l'insertion professionnelle de personnes exilées dans des métiers écologiques. « La plupart des personnes en exil sont très résilientes, elles se sont débrouillées toute leur vie, et les low-tech, c'est un peu ça aussi : faire avec ce qu'on a pour trouver des solutions qui intègrent la technologie de façon simple et durable », explique l'étudiante de 22 ans. Le deuxième a passé un CAP boulanger et rentre du Brésil, où il a découvert la permaculture en woofing – une forme de tourisme alternatif où on offre sa force de travail dans une ferme biologique contre le gîte et le couvert. « Je ressens un peu de distance avec les autres élèves de Centrale, reconnaît-il. La voie royale en école d'ingé, c'est encore l'intégration des grandes boîtes du CAC 40. Mais rien qu'avec l'explosion des factures de gaz et d'électricité, tout le monde va finir par s'intéresser aux

low-tech. » Guilwen Meunier, 21 ans, a, lui, choisi cette option pour « prouver que la sobriété a un rôle majeur à jouer dans les écoles d'ingénieurs ».

« Les low-tech ont toute leur place en école d'ingénieurs, mais ce n'est pas encore acquis. Avec cette nouvelle option, on casse les codes » Jean-Baptiste Avrillier, directeur de Centrale Nantes

Lorsque cette filière a été présentée, une partie du corps professoral a réagi avec scepticisme, retrace Jean-Marc Benguigui : « On pense encore que les low-tech, c'est du bricolage, qu'on choisit ce parcours pour travailler dans une ferme du Larzac. » Voilà pourquoi Jean-Baptiste Avrillier a tenu à ce que le terme « ingénierie » figure dans l'intitulé. Les low-tech, explique le directeur de l'Ecole centrale de Nantes, sont « aussi compliquées que les high-tech. Elles ont toute leur place en école d'ingénieurs, mais ce n'est pas encore acquis. Avec cette nouvelle option, on casse les

*Extrait de l'article paru dans le Monde Campus sur les enseignements de la transition*

## 8 ANNEXES

### RÉFÉRENTIEL LOW-TECH

Cette annexe présente le référentiel low-tech que nous avons établi. Celui-ci reprend le travail du projet *Low-tech + sustainability* et en propose une reformulation en se basant sur la définition de Tardif et sur l'approche du *Guide d'accompagnement à la rédaction du référentiel de compétences du B.U.T. en contexte d'APC*.

Nous sommes partis des 11 propositions de low-tech + sustainability, de notre vision des low-tech et de notre expérience de leur enseignement pour proposer un regroupement de ces 11 composantes en 4 compétences. Nous avons transformé la composante "Centrage sur les personnes et changement de comportement" en "En partageant et modifiant les comportements". Nous jugeons que le centrage sur les personnes s'exprime au travers du design thinking et que les notions de partage et d'empouvoirement des low-tech n'étaient pas assez présentes.

#### Dans quel but ?

- Faciliter la lecture et l'appropriation des compétences.
- Mettre en avant les 4 axes majeurs de développement d'un ingénieur low-tech:
  - Le recul systémique
  - La conception de technologie low-tech
  - Son rayonnement collectif
  - L'éthique de l'ingénieur

<b>Vision systémique et prospective:</b> A l'aide d'une approche historique et d'une bonne compréhension des enjeux de notre époque, adopter une vision holistique du système Terre. Avoir une approche prospective	<b>Pensée Systémique</b>	Être capable de travailler dans son domaine en tant que partie d'un système complexe étroitement lié à d'autres domaines tels que la société, l'économie et l'environnement ;
	<b>Pensée à long terme / anticipatrice</b>	être capable de créer et d'évaluer les scénarios futurs de leur domaine dans l'optique des "basses technologies" (durabilité, besoins sobres et accessibilité) en tenant compte des incertitudes et des actions proposées
	<b>Pensée stratégique</b>	être capable de reconnaître les racines historiques et les obstacles au changement de la non-durabilité et des défis sociétaux ; et être capable de planifier de manière créative des expériences innovantes pour tester des stratégies dans votre domaine afin de résoudre ces problèmes
<b>Conception durable :</b> Mobiliser les techniques de l'ingénieur en vue de répondre aux objectifs sociaux et environnementaux	<b>Connaissances thématiques</b>	Avoir une bonne formation dans les matières fondamentales qui sont pertinentes pour le problème, comme l'économie, la mécanique de base, l'électronique, etc.
	<b>Résolution de problèmes pluridisciplinaires</b>	être capable de résoudre de manière créative des problèmes dans votre domaine, en utilisant non seulement les informations de votre domaine, mais aussi celles d'autres domaines, et même de nouvelles façons de penser et de connaître.
	<b>Mise en œuvre (conception, action et évaluation)</b>	Être capable d'utiliser le design thinking dans une approche itérative et incrémentale pour créer des solutions percutantes et développer des moyens tangibles pour évaluer l'impact des solutions ou des systèmes dans divers domaines (économique, social, environnemental)

<p><b>Actions collectives:</b> Accompagner les changements de comportements. Mobiliser des acteurs et mettre en oeuvre collectivement des projets ancrés dans un territoire, avec une démarche responsable.</p>	<p><b>Gestion des biens communs et de solution d'échelles</b></p>	<p>Être capable d'organiser, de mobiliser et de mettre à l'échelle des ressources pour des innovations de basse technologie " de manière accessible et économiquement viable, qui soient bien adaptées au contexte local".</p>
	<p><b>En pilotant un projet, une équipe</b></p>	<p>être capable d'appliquer vos compétences de manière à engager et à motiver d'autres personnes très différentes ; et être capable de travailler avec d'autres personnes qui ont des modes de connaissance et de communication différents.</p>
	<p><b>En partageant et modifiant les comportements</b></p>	<p>Être capable d'influencer les usages et les comportements avec son travaux. Être capable de diffuser, rayonner son savoir, ses travaux afin de permettre l'empouvoirement et de responsabiliser l'utilisateur</p>
<p><b>Ethique de l'ingénieur :</b> Réfléchir au rôle de l'ingénieur, son rapport à la technique, être conscient de ses choix et de ses responsabilités.</p>	<p><b>Compétence intra-personnelle/auto efficacité</b></p>	<p>Prendre conscience de ses propres émotions, désirs, pensées, comportements et personnalité, ainsi que de se réguler, se motiver et s'améliorer en permanence.</p> <p>S'améliorer en s'appuyant sur les compétences liées à l'intelligence émotionnelle et à l'apprentissage social et émotionnel .</p>
	<p><b>Pensée éthique et de valeurs</b></p>	<p>Être capable de comprendre les valeurs qui motivent les actions de divers individus ; et être capable de négocier ces valeurs et ces objectifs dans un contexte de conflits d'intérêts, de connaissances incertaines et d'éthique.</p>

Tableau : Les 4 compétences du référentiels low-tech établit

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'ENSEIGNEMENT

Appellation	Nom du cours	Détail	durée (h)	Total
PHYLOW - Physique low- tech	Thermodynamique	Principe de base, révision prépa avec application à des systèmes isolants, transferts de chaleur... Notion d'entropie avec parallèle à l'entropie sociale	4	16
	Mécanique fluide	Avoir un résumé synthétique des formules clés pour dimensionner rapidement sur un coin de table une pompe, un circuit...	2	
	Mécanique cinétique	Sous forme de TP pour modéliser l'effort humain nécessaire pour faire tourner une machine à laver par exemple, avec un système de levier, de réduction, d'engrenages...	2	
	Plomberie	Rapide cours théorique sur les bases de la plomberie pour la culture G	2	
	Culture sur l'énergie (renouvelable, réseaux de distribution...)	Voir si on peut assister sur des cours généraux de ENRES ?	4	
	TD "caractérisation d'un système low-tech complexe"	Avoir un exercice appliqué à un sujet lowtech (dimensionner un capteur solaire aérothermique ?) pour revoir les bases de la physique (thermo, méca flux...) et avoir un cas concret de dimensionnement	2	
LOWTEC - Découverte des low-tech	Visite de APALA à l'agronaute	Cours d'APALA	4	16
	L'approche low-tech d'APALA	Cours d'APALA	2	
	L'intérêt du design pour l'usage dans la low-tech	Cours d'APALA par Charlotte Kaplan	2	
	Découverte capteur solaire aérothermique	Cours d'APALA	2	
	Électronique Low-tech	Cours d'APALA fait par Clément.	2	
	Confort thermique	Cours d'APALA	2	
INGET - Ingénieur de la transition	Solution Thermique Low-Tech : poêle de masse	Cours d'APALA par Jonathan	2	24
	Eco-conception	Fait par JM. Benguigui Sinon Mme. Catherine Touzard intervient sur ces sujets à Audencia si vous n'avez pas le temps de dispenser ces cours	6	
	Economie circulaire	Cours fait par prof de MATEPRO	3	
	Recyclabilité des matériaux	culture générale	3	
	Rénovation bâtiment aspect énergétique	Cours d'APALA sur l'efficacité alimentaire fait par Jonathan	2	
	Efficiences alimentaire	Cours d'APALA sur la recherche scientifique fait par Jonathan	2	
	Initiation à la recherche scientifique	Tour d'horizon des méthodes existantes et application à un cas concret	2	
COFALOW - Conception et fabrication low- tech	ACV / Bilan carbone		6	24
	Matériaux et procédés		2	
	Résistance matériaux	Cours avec Jérôme à garder, bonne approche générale sur la culture des matériaux	2	
	Métaux alliage ferreux		2	
	Métaux alliages aluminium		2	
	TD conception/dessin	bien pour mettre en pratique ce que l'on a appris sur le dessin industriel	2	
	TD démontage	pas besoin de 6h pour ce TD ça passe en 4h, bien pour se questionner sur comment faire autrement	6	
	TP rocket stove	besoin d'un peu plus de 6h et faire tourner les élèves entre ateliers découvertes de procédé et conception du rocket stove	6	
Bois	Cours avec Jérôme à garder, bonne approche générale sur la culture des matériaux	2		

MATINALES	Conférences des matinales	Apporte une culture et une vision générale sur l'ensemble des solutions proposées pour l'environnement	16	24
	Cours éthique de l'ingénieur	Quelle est la place de l'ingénieur dans le monde aujourd'hui? Son rôle? Ses missions? Comment peut-il aider à résoudre les enjeux socio économiques et environnementaux ?	2	
	Autres		6	
MANAG - Management d'équipe	Twiza management responsable	Philosophie : qu'est ce que la démarche low-tech? Depuis quand on parle de low-tech ou de concepts qui s'en rapprochent? Descartes, Illitch, Ellul,...	6	16
	Vincent chaillou	Apprendre à capitaliser sur notre expérience au sein du projet en tant que groupe mais aussi en tant qu'individu. Apprendre à animer une réunion grâce à des outils d'intelligence collective	6	
	Gestion de projet (livrables)	Comment s'organiser en mode projet ? / Quel serait l'objectif de quel livrable ? Quels différents types de livrables ? (plan de qualité, cahier des charges, plan de communication...)	4	
PROJET	Suivi de projet	Assuré par JM.Benguigui	32	32
VOYAGE - cours à distance	Concarneau	voyage	12	24
	Vélo	voyage	12	
ELECTRO /NUM	Electronique de puissance	Quelques notions d'électronique, sur les moteurs, les alternateurs, les capacités, les convertisseurs... Des cours de SELEC ferait l'affaire	4	18
	Réseau et information	Comprendre comment sont transmises les données par les protocoles internet, comprendre l'enjeu. Comprendre les différentes manières de présenter l'information, notion de markdown, de balisage, d'accessibilité à l'information	4	
	Capteur	TP sur l'utilisation de capteurs : Tour d'horizon des capteurs qui existent. Savoir en contrôler un et l'intégrer à un raspberry Pi. Apprendre à récupérer et à traiter des informations en provenance de capteurs	2	
	TP arduino	TP apprendre à utiliser arduino, et approfondir : apprendre à faire un schéma électronique tout seul (quelles résistances utiliser, où? pareil pour les diodes, les condensateurs, les bobines) --> tour d'horizon du schéma électronique pour réussir à savoir en faire 1 seul appliqué à un projet)	6	
	Open Source	Définition de l'open source et tour d'horizon des logiciels et services qui existent	2	
CONSTRUCT	TP conception plan	TP de conception d'un plan 2D sur papier appliqué à un projet (ex rocket stove)	2	8
	TP bois	TP projet amenant à travailler le bois	4	
	TP Conception 3D FreeCAD	TP de remise à niveau sur un logiciel de CAO appliqué à un projet concret (exemple rocket stove)	2	
CULTU - culture	Biomimétisme	approche sur la biodiversité principes généraux sur le vivant ; cycle de l'eau, du carbone et de l'azote, cycle du phosphore; thermodynamique du vivant ( 90% de l'énergie vient du soleil, 1/5 de l'oxygène vient des phytoplanctons... photosynthèse et respiration) ;	2	8
	Milieus naturels, eco-toxicité	Décrire les impacts de quelques procédés industriels, métaux lourds, bioconcentration (des plantes qui accumulent certains métaux lourds). Cours "le vivant et nous"	2	
	Mobilité alternative	vélo cargo,...	4	

Tableau récapitulatif des cours suivis le long de l'année ainsi que d'autres à ajouter afin d'améliorer le cursus

PLANNING DE COMMUNICATION

**Légende:**

- Bleu - LinkedIn
- Vert - Instagram
- Blanc - Interventions
- Rose - Presse

Septembre		Octobre	
1		1	
2		2	
3		3	Poste catamaran systèmes
4		4	Interview Chargée comm' low-tech lab
5		5	Post présentation APALA
6		6	Post Séminaire concerneau
7		7	Présentation Option à respo ENERG et E-control
8		8	Stand fête de la science
9		9	
10	Création LinkedIn	10	
11		11	
12		12	Post Séminaire Concarneau
13	Post Présentation Option	13	
14	Interview Le Monde	14	Post Présentation Explore
15		15	
16	Rencontre avec Alan Fustec	16	
17		17	Article low-tech Lab      ENERG: présentation projet
18		18	Re post article Low Tech Lab
19		19	Article Le Monde Campus
20	Creation post INSTA	20	Re post article Le Monde
21		21	E-control : présentation projet      Interview Ocean Presse
22	Présentation option	22	
23	Post présentation APALA	23	
24	La low-tech qu'est-ce que c'est ?	24	
25		25	
26		26	Article Low-tech journal
27		27	
28	Re post Charlotte Kaplan	28	
29	Intervention comité DD	29	
30	Création site internet	30	
		31	

Tableau récapitulatif de la communication de septembre et octobre 2022



Janvier			Février		
	1	Article		1	
	2			2	
	3	Interview La relève et la peste		3	
	4	Article La relève et la peste		4	
	5	Article L'Hippocampe		5	
	6	Post La relève et la peste		6	
	7			7	Repost offre stage
	8			8	
	9			9	
	10			10	
	11			11	
	12			12	
	13			13	Post relai offre Stage
	14			14	Presse Télégramme
	15			15	Présentation à l'UBS Interview Ouest France Article Ouest France
	16			16	Interview France 3 JT France 3 Bretagne Article WE demain
	17			17	Interview Le Télégramme Presse Le Télégramme Post article Ouest France
	18	Post Recrutement KonkarLab		18	Presse Le Télégramme
	19			19	
	20			20	Article WE demain
	21			21	Post article Ouest France
	22			22	
	23			22	Podcast Le Chantier
	24	Post Forum Low-tech		23	Repost Explore
	25	Rencontre Crédit Agricole		24	
	26			25	
	27	Interview Le Chantier		26	Post JT france 3
	28			27	
	29			28	Interview Vest
	30				
	31				

Tableau récapitulatif de la communication de janvier et février 2022

Mars	1		
	2		
	3	Post Podcast le chantier	Repost APALA comm forum
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		Post Comm sur le forum low-tech
	16		
	17		
	18		
	19		
	20		Presse Ocean
	21		Forum Low-tech
	22		Repost Alan Fustec Forum Low-tech
	23	Post Retour Forum	Intervention au forum des options
	24		
	25		
	26		
	27		
	28		
	29		
	30		
	31		

Tableau récapitulatif de la communication de mars 2022

TABLEAU RÉCAPITULATIF D'AVANCEMENT

Système	Sous-système	Etudes	Conception	Prototypage	Opérations
Alimentation	Hydroponie	<b>Fait :</b> Etat de l'art, choix de design, de plantes à cultiver	<b>Fait :</b> Design fonctionnel établi, choix de l'emplacement fait	<b>Fait :</b> Montage d'un module NFT de 4 tours, peinture et raccords PVC <b>A faire :</b> - Valider les débits de fonctionnement avec la pompe installée selon les raccords PVC - Valider le système "sprinkler" pour la distribution des gouttes de fertilisant - Expérimenter les différents substrats (laine de roche, mousse PU, coton tige)	<b>Fait :</b> Premiers essais de semis (salade et persil) dans la laine de roche <b>A faire :</b> - Cultiver des semis sains pour installation sur le module - Expérimenter les fertilisants naturels (jus de bokashi) - Tests réels en mer
	Bokashi	<b>Fait :</b> Etat de l'art, choix de design	<b>Fait :</b> Design fonctionnel établi, conception détaillée et plans	<b>Fait :</b> Réalisation de la structure générale	<b>A faire :</b> - Expérimenter en situation réelle
	Séchoir solaire	<b>Fait :</b> Etat de l'art, choix de design	<b>Fait :</b> Design fonctionnel établi, conception détaillée et plans	<b>Fait :</b> Réalisation de la structure générale <b>A faire :</b> - Etanchéiser la porte avec du mastic alimentaire - Valider le tirage, prévoir éventuellement un élargissement du flux d'entrée - Peindre la cheminée en noir - Faire les premiers tests en extérieur	<b>A faire :</b> - Expérimenter les différents types de séchage (coupes, fruits etc.) - Valider les durées de conservation
	Cuiseur solaire	<b>Fait :</b> Etat de l'art	<b>Fait :</b> Choix d'un modèle tubulaire	<b>Fait :</b> Modèle reçu	
	Garde manger	<b>Fait :</b> Etat de l'art	<b>Fait :</b> - Conception d'un modèle en bois, choix d'un système de caisses amovibles		
	Toilette sèche	<b>Fait :</b> Etat de l'art, études de faisabilité	<b>Fait :</b> Conception avancée	<b>A faire :</b> Découpe d'une caisse sur mesure pour le We Explore	
	Marmite norvégienne	<b>Fait :</b> Etat de l'art	<b>Fait :</b> Choix du modèle retenu		
Energie	Système énergie	<b>Fait :</b> - Etat de l'art PV, Hydrogénérateur, Eolien - Etude comparative groupe électrogène - Outil de dimensionnement à partir de données de conso définies	<b>Fait :</b> - Reflexion sur l'implantation des panneaux solaires - Reflexion sur l'installation des hydrogénérateurs <b>A faire :</b> - Reflexion critique avec le client sur les données d'entrée - Conception du schéma complet à partir ce dimensionnement		
	Batterie upcyclée	<b>Fait :</b> - Etat de l'art de l'utilisation des cellules Li-ion (fonctionnement, dimensionnement, etc.) - Etudes des techniques de réassemblage des packs - Proposition d'agencement modulable des packs	<b>Fait :</b> - Orientation vers le recyclage de packs déjà assemblés <b>A faire :</b> - Dimensionner les caractéristiques des packs modulables (tension, capacité, BMS) à partir de pack existant		
Système ECS	Eau chaude sanitaire	<b>Fait :</b> - Etat de l'art non-exhaustif de solutions disponibles à bord - Outil de dimensionnement à partir de données de conso définies	<b>Fait :</b> - Premiers échanges sur l'implantation du capteur solaire - Reflexion sur l'installation des hydrogénérateurs <b>A faire :</b> - Reflexion critique avec le client sur les données d'entrée - Conception du schéma complet à partir ce dimensionnement		
	Désalinisateur	<b>Fait :</b> - Etude de l'installation d'un désalinisateur			
Numérique	Capteur	<b>Fait :</b> Etat de l'art - Monter un projet pour l'option E-control	<b>Fait :</b> Choix des capteurs, choix de la technologie de transmission (Zigbee), choix de l'emplacement	<b>Fait :</b> - Prototypage de capteurs pour le garde manger et le séchoir solaire (T°, luminosité, humidité) - Rédaction d'un guide pour prendre en main les capteurs - Code Arduino pour des capteurs de puissance, de distance...	<b>A faire :</b> - Tester la récupération des données et leur exploitation sur le logiciel de domotique - Réaliser les autres capteurs et leurs boîtiers avec cellule de batterie pour être autonome
	Mini-PC	<b>Fait :</b> Etat de l'art, choix de design (Raspberry Pi)	<b>Fait :</b> Choix des logiciels, choix des protocoles, choix de l'auto-hébergement	<b>Fait :</b> Installation des logiciels, des applications, rédaction d'un guide pour utiliser le Raspberry et les applications installées.	<b>A faire :</b> Installer les MOOC explore pour la formation
	Transmission à terre	<b>Fait :</b> Etat de l'art, choix de design	<b>Fait :</b> Proposition de sobriété, d'usage de clé USB/carte SD, sinon réseau 4G avec carte SIM		

Tableau récapitulatif d'avancement du projet