

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE
COMPIÈGNE

Département Ingénierie Mécanique

IS03

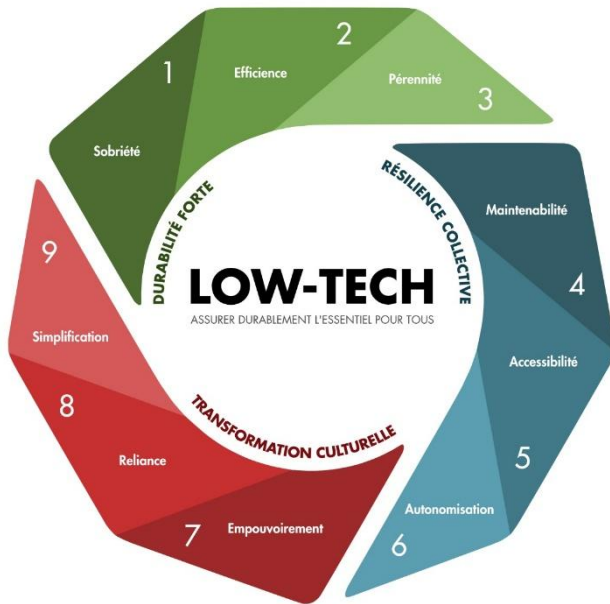
Liens entre industrie et LowTech

Matthieu Bricogne

16	28	32
D'une synthèse sur la LowTech à de nécessaires évolutions industrielles Quelles limites à la LowTech? Que nous apprend-elle ?	Les quelques concepts liés La soutenabilité dans la sphère industrielle	Travaux de recherche de Jean-Baptiste Le Floch Regards croisés génie industriel / LowTech
37	44	46
Quelques pistes pour une industrie "compatible" LowTech	Comment concevoir l'industrie lowtech ? Des questions en guise de conclusion...	Quelques questions de recherche en relation avec la thématique de ce cours
53	60	
Questions	Sphère individuelle Autres concepts liés	

D'une synthèse sur la LowTech à de nécessaires évolutions industrielles

Quelles limites à la LowTech? Que nous apprend-elle ?



LES CRITÈRES DE TOUTE DÉMARCHE D'INNOVATION LOW-TECH :

DURABILITÉ FORTE

1 Sobriété

Recentre sur l'essentiel et tend vers l'optimum technologique : plus basse intensité et plus grande simplicité technologiques permettant d'assurer les besoins avec un haut niveau de fiabilité

2 Efficience

Minimise la consommation d'énergie et de ressources, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie en passant par la production, la distribution et l'utilisation

3 Pérennité

Présente une viabilité technique, fonctionnelle, écologique et humaine maximale à court, moyen et long terme

RÉSILIENCE COLLECTIVE

4 Maintenabilité

Peut être entretenu et réparé par les utilisateurs eux-mêmes autant que possible, avec des pièces et matériaux standards

5 Accessibilité

Offre une simplicité d'utilisation maximum

6 Autonomisation

Est fabriqué à partir de ressources exploitées et transformées le plus localement possible

TRANSFORMATION CULTURELLE

7 Empouvoirement

Facilite l'appropriation par le plus grand nombre, confère du pouvoir aux citoyens et aux territoires

8 Reliance

Favorise le partage de savoirs et de savoir-faire, la coopération, la solidarité, la cohésion sociale et les liens entre collectivités

9 Simplification

Décomplexifie la société aux niveaux socio-économique et organisationnel à partir d'une réflexion sur les besoins et les vulnérabilités

Conception et réalisation : Arthur Keller et Émilien Bournigal

- Analyse de la LowTech selon
 - Les finalités
 - Les objectifs
 - Les moyens

Avant tout une démarche...

- Com'
 - visant une transformation **massive** (globale me semble trop ambitieux à ce stade) et **rapide**
 - provocatrice (opposition à high-tech) / militante : **faire réagir**
 - **inspirante** pour le maximum de personnes
 - => logique de communication
 - **Accessible** (notamment financièrement)
- Faire en s'interrogeant
 - Interrogation systématique sur le ratio **impacts environnementaux** (énergie et ressources naturelles) vs. **utilité**
 - Durée de vie du système : pérennité et autonomie
 - **Durabilité** et **robustesse** => **simplicité**
 - **Réparabilité** : pas de dépendance technique / autonomie
- Comprendre / apprendre : logique de **diffusion de connaissances**
 - Techniques : convivialité technique
 - Développement d'un savoir "faire"
 - Compréhension et tentative d'anticipation (posture réflexive)
 - Impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie
 - Effets rebonds



Peu impactant



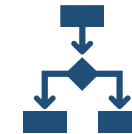
Peu de ressource



Besoins essentiels



Encapacitant



Systémique



Maîtrise locale

"Révélation" en lisant l'article

"Du système D à un projet de société : la lowtech au delà du bricolage"

⇒ élicitation de certaines limites

[IngeEngages-AuDelaBricolage]



- Limites (techniques) de l'imaginaire porté par la lowtech
 - Exemples actuels : simples, peu coûteux, à base de matériaux naturels ou de récupération, répondant à des besoins de base
⇒ Emblématiques avant tout !
 - Des compétences initiales vraiment détenues par tous ?
- lowtech : un truc d'ingénieurs?
 - réappropriation de la technique
 - cohérent avec la quête de sens recherchée par les "jeunes" générations ?
 - Retour de l'ingénieur généraliste, pour contrer l'hyper spécialisation?

- Constats
 - société industrielle actuelle produit des objets plus ou moins utiles et surtout rapidement obsolètes en très grande quantité
 - récupération, réutilisation ou recyclage : globalement vertueux
 - Limites de la récupération
 - Qualitatif : la qualité de l'objet final est grandement dépendante de la qualité des matières récupérées
 - Caractéristiques de la récup' : quantité, dimensions et autres caractéristiques des matériaux ou sous-systèmes varient en fonction des trouvailles
 - Implications
 - chaque nouvelle réalisation conçue à partir d'objets récupérés doit être unique, faite sur mesure, avec à chaque fois un temps considérable passé pour s'adapter à l'imprédictibilité des matériaux
 - condamné à construire en permanence des objets sous-optimaux, en ajoutant des contraintes de conception supplémentaires
 - Possible pour un hobby, pas pour un modèle de société
- ⇒ contradictoire avec la simplicité et l'accessibilité que prône la démarche lowtech ?

*“L’utilisation de verre à vitre classique pour le panneau implique qu’il cassera probablement à la première averse de grêle. En effet les panneaux industriels utilisent du **verre trempé**, hautement technique et surtout très résistant, pour pallier ces aléas. Il est sans doute possible de récupérer des vitres de ce type (par exemple des vitres de trains) mais elles sont beaucoup moins courantes, et encore faut-il avoir connaissance de ce risque. Ce danger, en plus de porter fortement atteinte à la **durabilité de l’installation**, entraîne un réel risque de **coupure** ou de **brûlure** pour l’utilisateur, ce qui augmenterait statistiquement de manière considérable les accidents liés à la massification de cette approche.”*

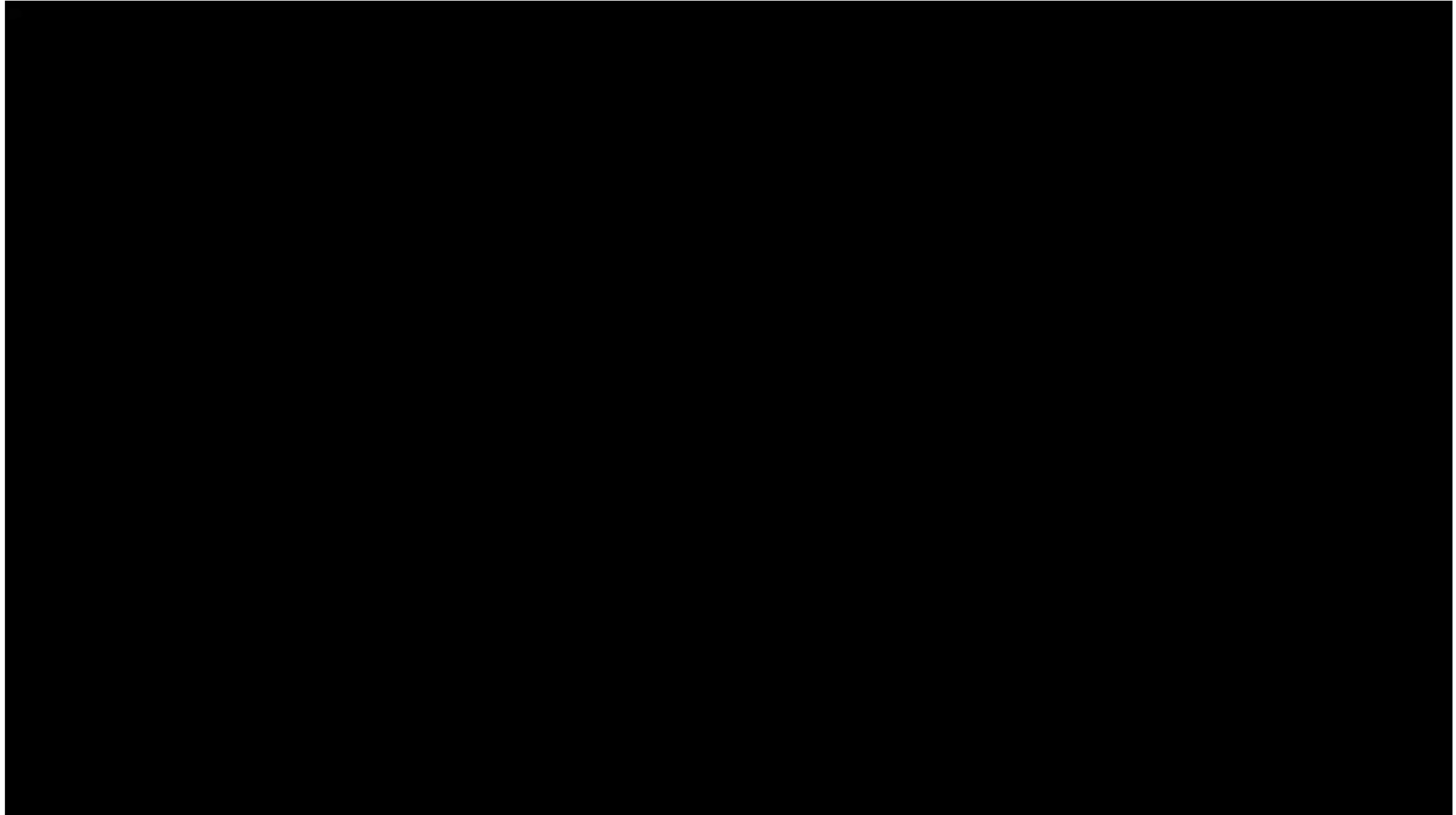
"Quand la récup' est contre-productive : le frigo qui réchauffe..."

La réutilisation est presque toujours plus efficace énergétiquement que le recyclage. Il existe néanmoins des cas où les produits sont dangereux, complexes, ou utilisent des matériaux rares, dans lesquels une prise en charge structurée serait plus intéressante pour optimiser le recyclage ou minimiser l'impact environnemental.

*Par exemple, si l'on reprend le cas du **chauffe eau solaire DIY**, la récupération d'une **grille de réfrigérateur** utilisant une charge de **200 g de réfrigérant R134a** libère l'équivalent de 286 kg de CO₂, soit plus d'1/10 du budget carbone annuel par personne pour respecter les Accords de Paris.*

Il est aujourd'hui obligatoire de traiter les équipements frigorifiques en fin de vie pour éviter de relâcher ces gaz de synthèse à très fort pouvoir de réchauffement. Ils peuvent ensuite soit être recyclés et réutilisés, soit simplement détruits. Cependant, ce système de traitement industriel semble malgré tout inefficace, notamment concernant les équipements des particuliers, puisque moins de la moitié passerait effectivement par ces filières. Encourager la récupération sur ce type d'équipement sans traitement approprié pourrait donc paradoxalement aggraver certains problèmes environnementaux."

- Constats
 - Connaissances à acquérir
 - Pour faire
 - Pour maîtriser les impacts
 - Nécessité d'outillage
 - Dangerosité de certaines machines / moyens de production
 - Respects des règles de sécurité
 - Formation longue et couteuse (notamment en temps)
 - Inclusion : accessibilité pour personnes à mobilité réduite / aînés



(...) on peut par exemple considérer qu'une cafetière à piston est lowtech, car elle est très sobre énergétiquement dans sa phase d'utilisation et qu'elle est composée d'un petit nombre de pièces à première vue très simples et compréhensibles. Tout le monde s'accorde ainsi en général pour dire qu'elle est beaucoup plus lowtech et adaptée à une société résiliente qu'une cafetière à capsules jetables. Pourtant, en y regardant de plus près, cette technologie est très loin d'une lowtech "pure" et accessible à tous.

Cette simplicité apparente cache en effet une incroyable complexité, que décrypte Cyrille : "Le détail du piston est en **fil d'acier inoxydable tressé-maillé, avec sertissage de l'œillet en hydraulique**. Le porte-filtre est une **feuille emboutie, avec perçages adoucis, ressort spiral engagé sur le rebord, pourvu de perçages réguliers**. Les usines requises pour produire comprennent **l'extraction des minerais** : fer, chrome, nickel, manganèse, vanadium, molybdène, la cokerie, les hauts-fourneaux, laminoirs et train à bandes, façonnage des feuillards, bancs d'étirage et usine de tréfilerie, maillage de précision, le rig d'extraction de pétrole, mais également la raffinerie de pétrole, l'usine de conversion du plastique butadiène-rubber, **l'injection plastique** pour le fond et le manche, la **verrerie** capable de faire le pot en Pyrex avec des côtes de précision (verre borosilicate résistant aux écarts brusques de températures, car un verre classique en sodocalcique éclaterait).... Si l'on souhaite se réapproprier TOUTES ces usines, il y en a pour pas loin de 5 milliards de dollars."



L'exemple du **roulement à bille** est tout à fait représentatif de ce problème. Autrefois, les frottements entre un axe et son logement (par exemple **l'essieu en bois** d'une charrette) étaient limités par **lubrification avec du suif** (graisse de porc), additionné à un peu d'huile végétale ou animale. Puis est arrivé le besoin de transports de charges plus lourdes, et les **coussinets en bronze** lubrifiés à l'huile minérale sont apparus. Avec cette solution les frottements sont réduits, mais les pertes sont quand même très conséquentes. Seule l'arrivée progressive des roulements à billes et à rouleaux, à partir de 1907, permettra une amélioration très forte des performances.

Problème : une fabrication de bonne qualité nécessite une précision extrême, ainsi que des matériaux très techniques, que l'on peut obtenir uniquement dans un contexte industriel...

Notions générales

Types de roulements	6
■ Définitions	6
■ Vocabulaire	8
■ Aptitudes	9
Normalisation et interchangeabilité	12
■ Les normes	12
■ Interchangeabilité	12
Dimensions et symbolisation	14
■ Symbolisation générale	14
Symbole complet	14
Symbole de base	15
■ Symbolisation des roulements à rouleaux coniques	16
■ Symbolisation des roulements spécifiques	17
Précision d'exécution des roulements	18
■ Normalisation	18
Définition des tolérances	19
Équivalence des normes de précision des roulements	22
■ Tolérances des roulements	22
Roulements radiaux - Classe de tolérances Normale	23
Roulements radiaux de haute précision - Classe de tolérances 6	24
Roulements radiaux de haute précision - Classe de tolérances 5	25
Roulements radiaux de haute précision - Classe de tolérances 4	26
Roulements radiaux de haute précision - Classe de tolérances 2	27
Roulements à rouleaux coniques - Classe de tolérances Normale	28
Roulements à rouleaux coniques de haute précision	29
Classe de tolérances 6X	29
Roulements à rouleaux coniques de haute précision	30
Classe de tolérances 5	30
Butées à billes - Classe de tolérances Normale	31
Alésages coniques : conicité 1/12 et conicité 1/30	32
Jeu interne initial des roulements	34
■ Jeu radial des roulements à contact radial. Définition	34
■ Groupe de jeu radial interne	34
Jeu axial des roulements à contact angulaire	35
■ Jeu axial préconisé	35



- Constats : incompatibilité lowtech – modèle industriel actuel
 - Les systèmes commercialisés sont hyper spécialisés, intégrés, non réparables, etc...
 - ⇒ Obsolescence, marketing, modèles économiques inappropriés, ...
- Modèle industriel *mainstream* actuel
 - outil n'est plus au service de l'humain, mais l'humain une ressource (humaine) qui travaille au rythme des machines et algorithmes
 - technologies industrielles sont fermées (notion de propriété industrielle)
 - production industrielle aboutit à des objets uniformisés, et impose des choix technologiques à l'ensemble de la société

⇒ **comment combiner une "autre industrie" qui s'articule avec la lowtech et qui en partage la philosophie / les valeurs ?**

Les quelques concepts liés

La soutenabilité dans la sphère industrielle

- Conception
 - "(...) [d'un] ensemble [d'activités] qui transforme des exigences en caractéristiques spécifiées ou en spécification d'un produit (...)" [Norme ISO 9000, 2000]
 - "classiquement, concevoir un produit c'est passer de l'expression d'un besoin à la définition des caractéristiques (...) permettant de le satisfaire et à la détermination de ses modalités de fabrication à un coût acceptable." [Jeantet, 1998]
- Eco
 - "Un impact environnemental inclut toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement (...) d'une [activité]" [ISO 14001]
- Écoconception
 - "l'intégration des aspects environnementaux dans la conception (...) [avec] pour objectif la réduction des impacts environnementaux négatifs des produits tout au long de leur cycle de vie" [ISO 14062-2002]
 - ⇒ Cout Qualité Délais et Environnement
- Logique
 - raisonner de manière systémique et non pas par impact environnemental séparé
 - mesure des impacts environnementaux du berceau à la tombe (notion de cycle de vie)

- Innovation frugale [Dabić et al. 2022]
 - approche business : fabriquer des produits plus simples et moins chers afin d'ouvrir de nouveaux marchés
 - Pas d'objectif de durabilité, sauf si le business modèle l'intègre (logique d'économie de service, le produit reste détenu par son fabricant)
- Ingénierie frugale
 - stratégie industrielle : prise en compte des contraintes de fonctionnement et des marchés correspondants aux pays émergents.
 - Finalité : produire plus simple et moins coûteux, sans dégrader la qualité (« faire mieux avec moins »)
- Frugalité industrielle
 - Baisse consommation énergétique pour production
 - Implémentation de stratégies d'économie circulaire : remanufacturing, reconditionnement



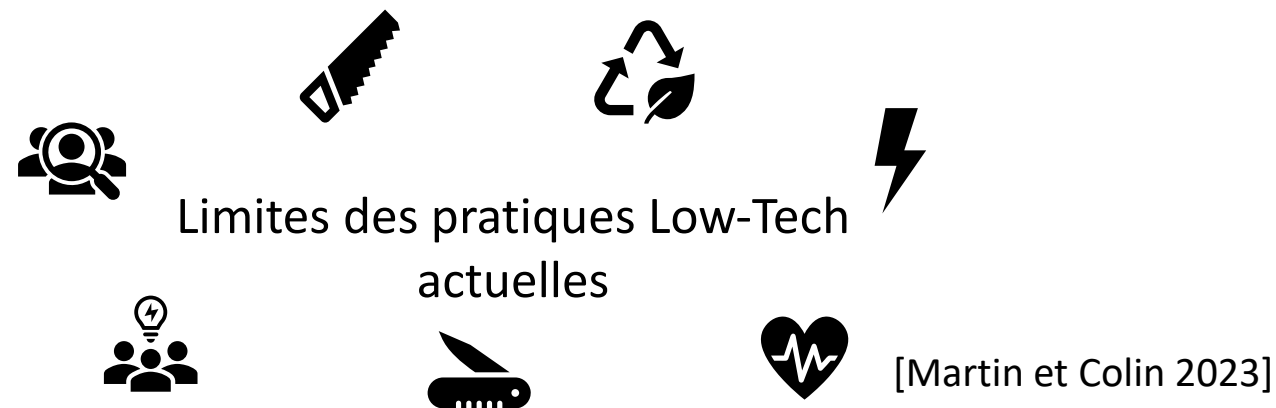
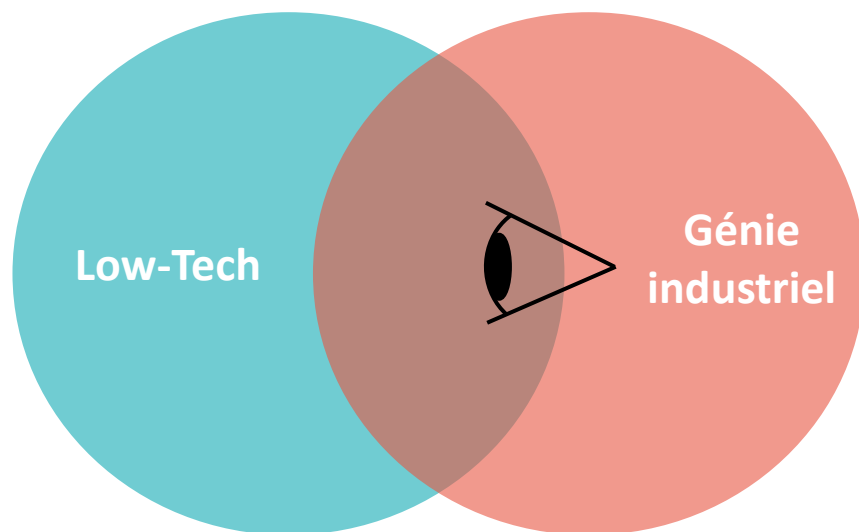
- Logique Développement Durable Responsabilité Sociétale
 - enjeux environnementaux, sociaux, économiques et éthiques pour l'ensemble de leurs activités
 - engagements des entreprises influencent de plus en plus la prise de décision des consommateurs et des collaborateurs
- Logique d'amélioration continue, peu de "rupture"
⇒ *Business as usual...*



Travaux de recherche de Jean-Baptiste Le Floch

Regards croisés génie industriel / LowTech

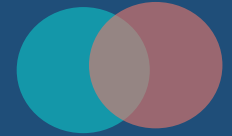
Problématique, question de recherche



Quelles pratiques d'ingénierie pour la Low-Tech ?

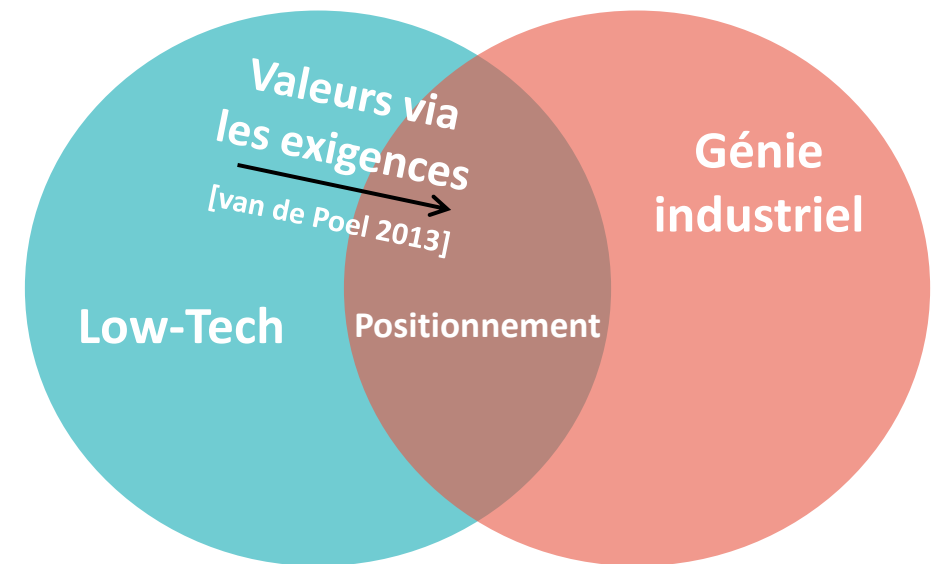
- | | | | |
|---|---|--|---|
|  Information/connaissances/compétences |  Fonctionnalité manquantes |  Impact environnemental |  Entretien/maintenance |
|  Fabrication/installation |  Sécurité/ santé |  Performance | |

Principaux concepts – Low-Tech Valeurs



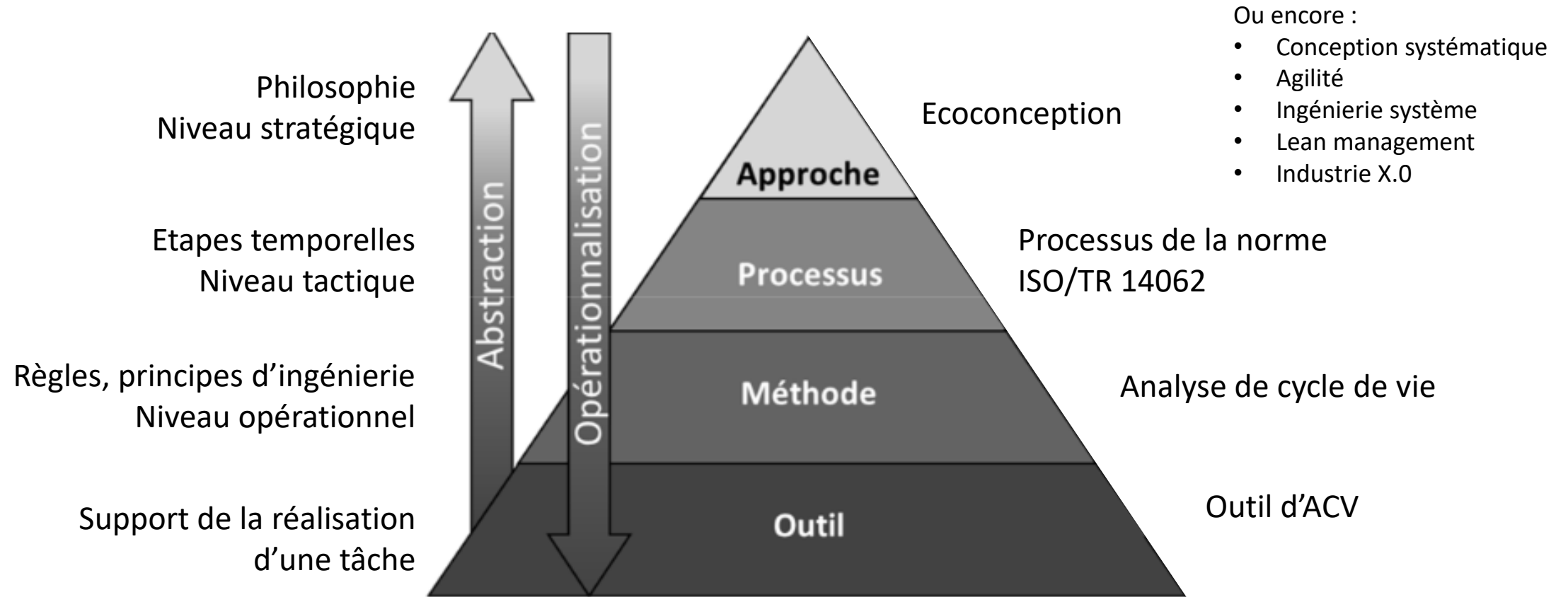
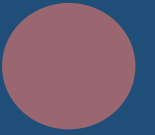
- Intégration de valeurs sociétales dans les artefacts
[Tanguy et al. 2023, Gaultier et al. 2024]

- Soutenabilité forte [Escobar-Cisternas et al. 2024]
- Démocratie des techniques [Barbin 2024]



Principaux concepts – Génie industriel

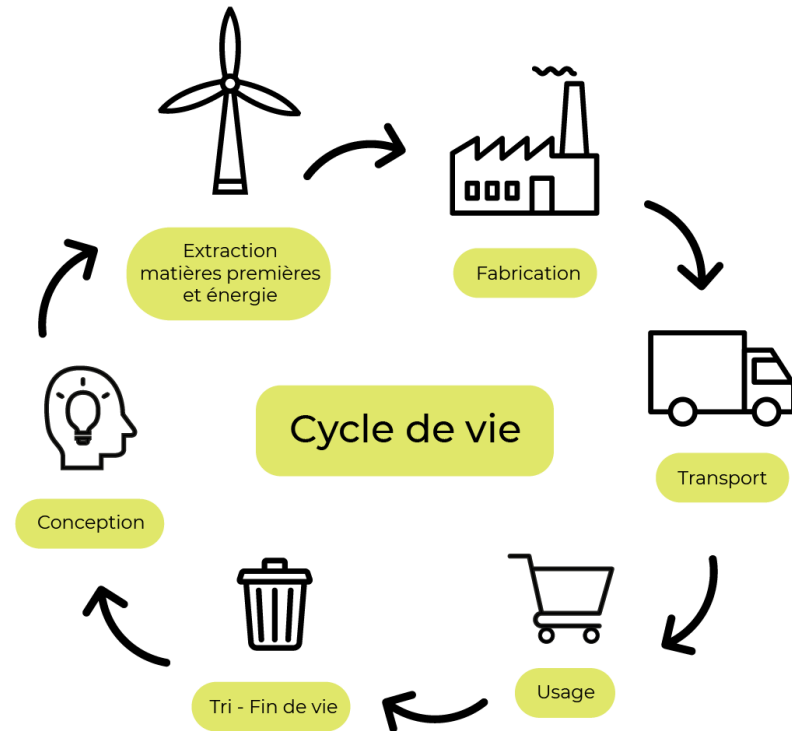
Concepts et techniques



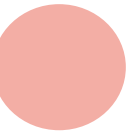
Source : cadre et figure [Guérineau 2022], exemples [Vallet 2012]

Les pratiques industrielles et leurs limites du point de vue Low-Tech

- Les sciences de la conception et des systèmes de gestion de la production



- De nombreux cadres généraux
 - Conception systématique
 - Ingénierie système
 - Product Lifecycle Management
 - Supply Chain Management
 - Sustainable Design
- Quelques points de convergence
 - Opensource Hardware [Boujut et al., 2019]
 - Common-Based Peer Production (similaire au fablab, maker)
 - Innovation frugale [Dabić et al. 2022]
- Des limites d'un point de vue Low-Tech
 - Pas de cadre recouvrant celui de la Low-Tech
 - Des concepts et techniques Low-Tech innovants peu documentés



Quelques pistes pour une industrie "compatible" LowTech

Voiture Gazelle



<http://www.gazelle-tech.com/>

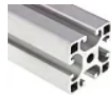
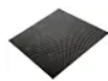
Sa micro-usine



<http://www.gazelle-tech.com/>



- Évolutions concernant la nature du produit
 - Réduction : intégration, optimisation, dépendance à l'environnement d'usage, usage de matériaux rares / spécifiques / non recyclables
 - Augmentation : robustesse, standardisation, usage de matériaux renouvelables
 - Sélectionner les solutions techniques appropriées pour les assemblages
 - Production de modules à la place de produits "finaux" ?

Boutons, leviers et poignées (732) (6 Catégories)  Boutons de serrage Leviers de serrage Manivelles	Cales d'épaisseur (94) (6 Catégories)  Cales en acier Cales en laiton Cales en plastique	Composants antivibration et de mise à niveau (1838) (8 Catégories)  Amortisseurs rotatifs Inserts tubulaire Kit anti-vibrations	Composants pour convoyeurs (390) (8 Catégories)  Billes porteuses Chaînes de convoyeur et maillons Galets de Guidage
Éléments de structure (1443) (10 Catégories)  Éléments de gestion des câbles Éléments de mouvement linéaire Éléments de stations de travail	Fibre de carbone & Tapis de feutre (8) (2 Catégories)  Feuilles en fibre de carbone Tapis de feutre	Matériaux en céramiques (25) (3 Catégories)  Barreaux et tiges en céramique Feuilles en céramique Kits de matériaux céramique	Matériaux isolants (96) (4 Catégories)  Films d'isolation thermique Isolations phoniques Isolations thermiques
Matériaux métalliques (530) (5 Catégories)  Barres et tiges métalliques Cornières métalliques Feuilles métalliques	Matériaux plastiques et caoutchoucs (664) (7 Catégories)  Bâches Films plastiques Plaques en caoutchouc	Polissage et finitions (31)  Voir tous les produits	Roues et roulettes (1545) (3 Catégories)  Fixations pour roulettes Roues de chariots Roulettes industrielles
Systèmes de fixation (136) (7 Catégories)  Bras porte-à-faux Brides pour profilés Capuchons d'extrémité			

- Évolutions concernant le process / l'organisation
 - Revenir
 - À des organisations industrielles moins "mondialisées"
 - À des sites industriels intégrant les bureaux d'études (conception), les méthodes (industrialisation), la production (fabrication pièce + assemblage)
 - À des industries à taille humaine / maîtriser la complexité
 - Conserver
 - *Raisonnablement* la logique de productivité
 - Les expertises
 - Le respect des normes et standards
 - La production d'indicateurs environnementaux
 - Développer
 - La production de petites séries
 - Le partage de moyens de production
 - Les circuits courts
 - L'économie de service

- Repenser l'articulation entre industrie manufacturière / artisanat / collectivités / individus
 - Restreindre le rôle industriel à la fabrication de composants à forte technicité

Comment concevoir l'industrie lowtech ?

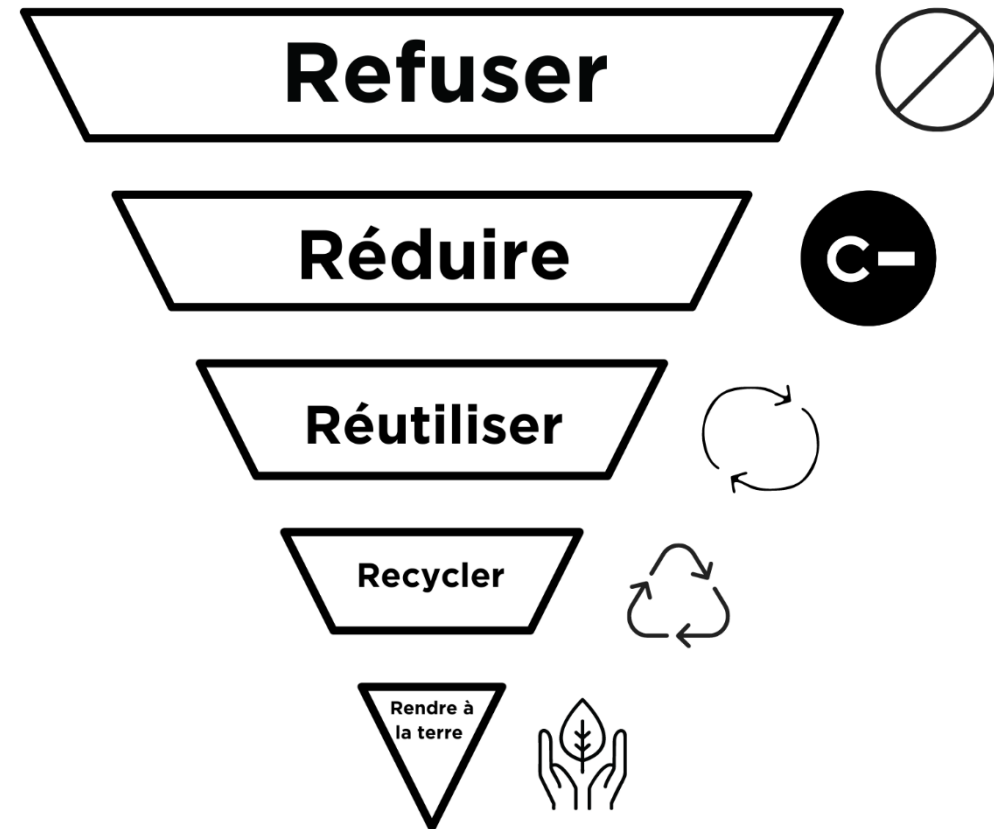
Des questions en guise de conclusion...

- Que produit aujourd'hui le système industriel?
- De quelles industries avons-nous (vraiment) besoin?
- Desquelles sommes-nous dépendants, et desquelles pourrions-nous nous passer?
- Où s'arrête l'indispensable, et où commence le superflu ?
- Qu'est-ce qui doit être uniformisé et qu'est-ce qui ne doit pas l'être?
- À quelle échelle doit-on fournir les produits et services lowtech?
- Comment organiser cette production pour qu'elle ne subisse pas les mêmes dérives que le précédent système industriel?
- Quel(s) rôle(s) les organismes de standardisation peuvent-ils avoir ?
- Comment assurer la sécurité / certification d'un produit lowtech ?

⇒ **La société entière doit tendre vers une forme de sobriété: besoin de concevoir une articulation intelligente entre récupération, bricolage, artisanat mais aussi production de masse**

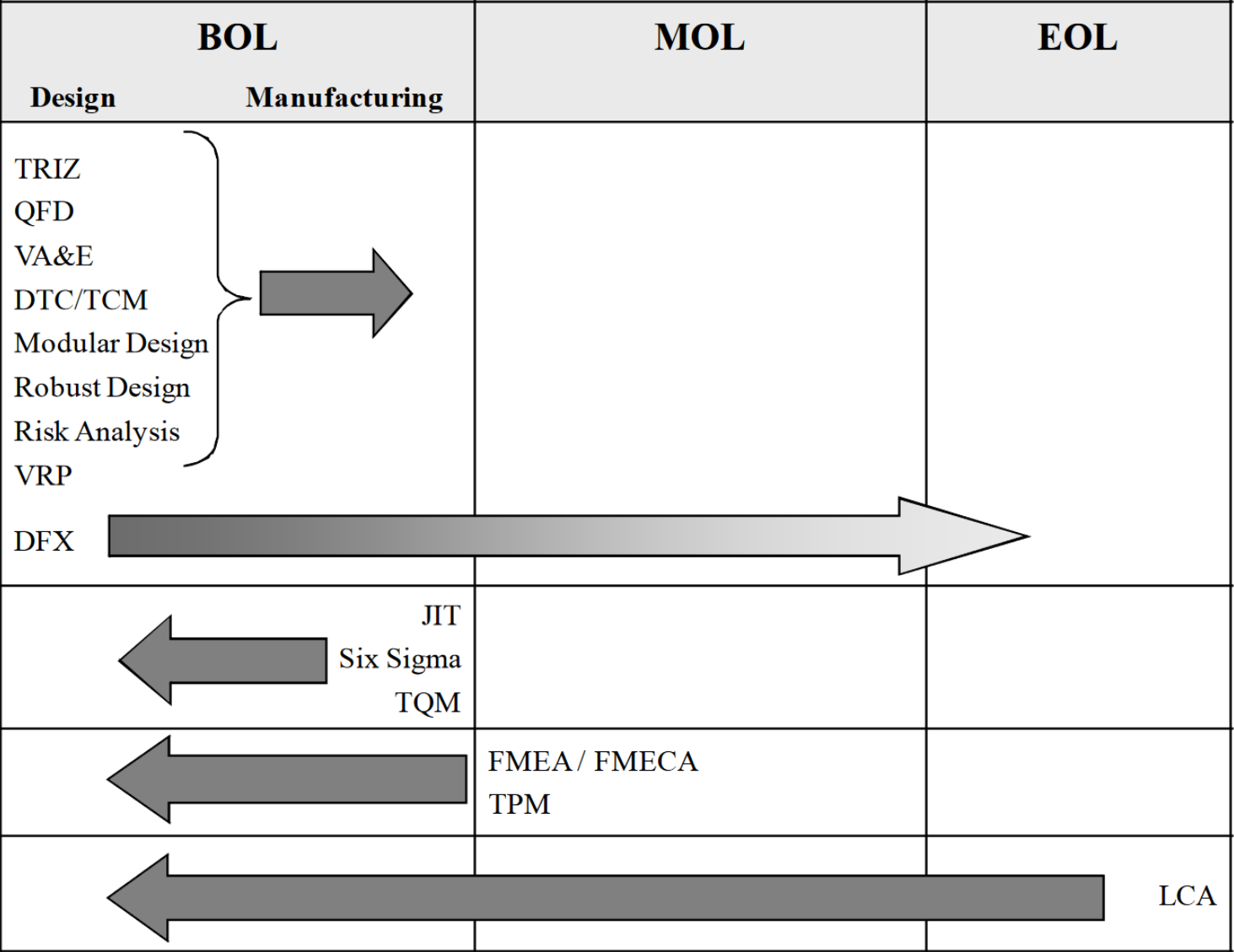
Quelques questions de recherche en relation avec la thématique de ce cours

- Création d'une filière industrielle de réemploi de déchets
 - Qualité constante et uniforme
 - Traitement approprié des déchets : gaz/solvants, poussières, pièces cassées, etc.
 - Nécessité de qualifier les **capacités résiduelles** [Recherche CPJ]
 - À toutes les échelles : système, sous système, matériaux
 - À partir des données initiales, d'expérimentations, des données d'usage, de simulations...
 - Capacité à agir en amont pour spécifier les implications sur la conception des futurs systèmes en fin de vie !
 - Lobbying pour les aspects normatifs
 - Mais basée sur économie industrielle "linéaire" actuelle !





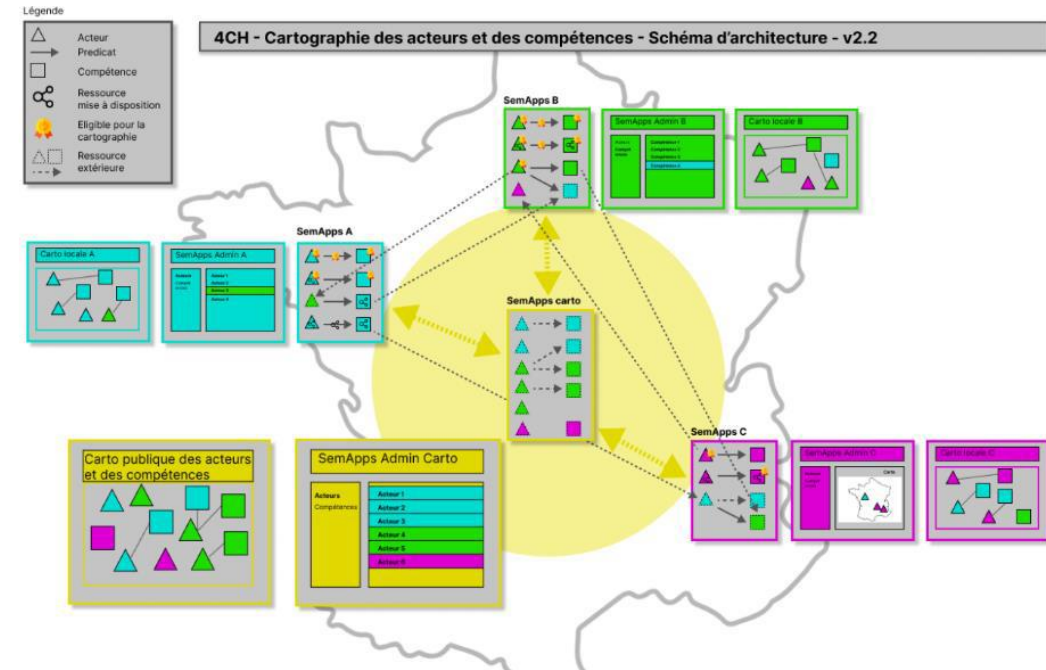
- 1) Identifier les gisements
- 2) Radiographier les composants principaux
- 3) Qualifier les capacités résiduelles de ces composants
- 4) Créer des objets (utiles) sur la base de ces composants



[Terzi, 2010]

- Partage de connaissances produit et process
- Partage de moyens pour concevoir et fabriquer un produit

⇒ résumé technologique
simplificateur: ontologies et
web sémantique



SemApps [GlobalLowtech2022]

Questions

- Prenez l'exemple d'un objet du quotidien
 - Quels sont les composants ? Quels procédés de fabrication sont mis en œuvre ?
 - Que faudrait-il faire pour le lowtechiser cet objet? Quelle chaîne de valeur, quelles collaborations imaginez-vous ? Quels composants sont produits et assemblés et par qui ?
 - Qui entretient et répare ce produit ?

- En quoi une démarche lowtechnicisante (en entreprise) se distingue-t-elle d'une démarche frugale? D'une démarche d'éco-conception? D'une démarche "Développement Durable Responsabilité Sociétale"?
- Quelles sont les limites actuelles si la démarche de lowtechniciation devait être appliquée à une "échelle industrielle"?
- Prenez l'exemple d'un objet du quotidien, purement mécanique: que faudrait-il faire pour le lowtechniciser? Quelle organisation (impliquant une industrie) serait nécessaire?

- [IngeEngages-AuDelaBricolage] Du système D à un projet de société : La lowtech au delà du bricolage, <https://ingenieurs-engages.org/2022/11/du-systeme-d-a-un-projet-de-societe-la-lowtech-au-dela-du-bricolage>
- [Lowtechnation] <https://lowtechnation.com/lowtech/>
- [Ademe] ADEME. Démarches lowtech – rapport. [Librairie.ademe.fr](https://librairie.ademe.fr) [en ligne]. Publié le 18 mars 2022 [consulté le 22 avril 2022]. Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/5421-demarches-lowtech.html>
- [LaFabriqueEcologique] La Fabrique Écologique. Vers des technologies sobres et résilientes – Pourquoi et comment développer l'innovation« lowtech » ?. [lafabriqueecologique.fr](https://www.lafabriqueecologique.fr) [en ligne]. Publié le 14 avril 2019 [consulté le 20 avril 2022]. Disponible sur : <https://www.lafabriqueecologique.fr/vers-des-technologies-sobres-et-resilientes-pourquoi-et-commentdevelopper-linnovation-lowtech/>
- [LaPenseeEcologique] J. Carrey, S. Lachaize & G. Carbou. Les lowtechs comme objet de recherche scientifique. Vers une société pérenne, équitable et conviviale [en ligne]. Publié en décembre 2021 [consulté le 26 avril 2022]. Disponible sur : <https://lapenseeecologique.com/6312-2/>
- [UsineNouvelle] <https://www.usinenouvelle.com/article/l-industrie-peut-elle-devenir-frugale.N2105341>
- <https://doi.org/10.3917/rindu1.164.0023>
- [CultureMaker-Wikipedia] https://fr.wikipedia.org/wiki/Culture_maker
- [DIY-Wikipedia] https://fr.wikipedia.org/wiki/Do_it_yourself
- [GNU-Stallman-FreeHardwareDesign] <https://www.gnu.org/philosophy/free-hardware-designs.fr.html>
- [DD02-Baouch] Cours de DD02 dispensés par Yacine Baouch, suivis en P20
- [Apple-SSR-2021] <https://www.apple.com/fr/newsroom/2021/11/apple-announces-self-service-repair/>
- [Autoconstruction-Wikipedia] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Autoconstruction>
- [Survivalisme-Wikipedia] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Survivalisme>
- [Eco-industrie-Local-Parapluie] <https://www.eco-industrie-locale.fr/parapluie/>
- [Bihouix2014] L'Âge des lowtech", Philippe Bihouix, 2014, p.152
- [GlobalLowtech2022] Rapport de la Recherche-Action GLOCAL LOW-TECH, « Exploration des voies, méthodes et outils pour un essor systémique de la Low-Tech » <https://drive.google.com/file/d/1zxnnNNVwYUJSPBIKofphtPvCxf-EoXUX/view>
- [Terzi, 2010] Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., Dimitris Kiritsis, 2010. Product lifecycle management – from its history to its new role. International Journal of Product Lifecycle Management 4, 360–389. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2010.036489>

Références

• Présentation

- Barbin, A., 2024. La démocratie des techniques, Technologia. Hermann, Paris.
- Bloquel, M., Bonjean, A.-C., Fangeat, E., Marry, S., ADEME, Forget, A., Fustec, A., Habe, C., Jaeger, R., Moiroud, L., Morales, E., Goodwill-management, Chabot, C., Low-Tech Lab, 2022. État des lieux et perspectives des démarches « low-tech ».
- Dean, M., 2020. Chapter Six - Multi-criteria analysis, in: Mouter, N. (Ed.), Advances in Transport Policy and Planning, Standard Transport Appraisal Methods. Academic Press, pp. 165–224. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.07.001>
- Escobar Cisternas, M., Faucheu, J., Troussier, N., Laforest, V., 2024. Implementing strong sustainability in a design process. Cleaner Environmental Systems 15, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100224>
- Gaultier, A., Masclet, C., Boujut, J.-F., 2024. Characterising the low-tech approach through a value-driven model, in: Proceedings of the Design Society. pp. 2353–2362. <https://doi.org/10.1017/pds.2024.238>
- Gilabert, C., Laurent, E., Augais, G., Lafforgue, L., Foata, M., Desauney, T., Deums, A., 2020. L'Archipel Low-Tech en France. La Pensée écologique 5, 9–9. <https://doi.org/10.3917/lpe.005.0009>
- Guérineau, J., Bricogne, M., Rivest, L., Durupt, A., 2022. Organizing the fragmented landscape of multidisciplinary product development: a mapping of approaches, processes, methods and tools from the scientific literature. Res Eng Design 33, 307–349. <https://doi.org/10.1007/s00163-022-00389-w>
- Martin, A., Colin, C., 2021. Ergonomie et low-tech : représentations et attitudes vis-à-vis du low-tech, intention d'utilisation et problèmes perçus pour 10 low-techs (report). Low-tech Lab.
- Tanguy, A., Carrière, L., Laforest, V., 2023. Low-tech approaches for sustainability: key principles from the literature and practice. Sustainability: Science, Practice and Policy 19, 2170143. <https://doi.org/10.1080/15487733.2023.2170143>
- Vallet, F., 2012. Caractérisation des bonnes pratiques en éco-conception pour la formation des ingénieurs-concepteurs : synthèse des dimensions, méthodes, activités et outils (These de doctorat). Compiègne.

• Quelques références de concepts et techniques

- Almrott, C., Astorino, L., Bette, S., Delinchant, B., Fortemps, P., Girard, U., Hendrick, P., Hodencq, S., Lecron, F., Lhuissier, J., Loesle, K., Santiago, L.M.L., Rodriguez, S.P., Renard, G., Reyes, T., Vandenbulcke, V., Walsh, J., 2025. Lessons in Low-Tech: A Handbook for Sustainable Education.
- Bonvoisin, J., Mies, R., Boujut, J.-F., 2021. Seven observations and research questions about Open Design and Open Source Hardware. Design Science 7, e22. <https://doi.org/10.1017/dsj.2021.14>
- Grimal, L., di Loreto, I., Troussier, N., 2023. Defining Permaengineering: New Practices for Strong Sustainable Contexts of Design, in: Proceedings of the Design Society. pp. 1167–1176. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.117>
- Kostakis, V., Latoufis, K., Liarokapis, M., Bauwens, M., 2018. The convergence of digital commons with local manufacturing from a degrowth perspective: Two illustrative cases. Journal of Cleaner Production, Technology and Degrowth 197, 1684–1693. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.077>
- Lizaralde, I., Tyl, B., 2018. A framework for the integration of the conviviality concept in the design process. Journal of Cleaner Production 197, 1766–1777. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.108>
- Oliveira Neto, G.C.D., Pinto, L.F.R., Amorim, M.P.C., Giannetti, B.F., Almeida, C.M.V.B.D., 2018. A framework of actions for strong sustainability. Journal of Cleaner Production 196, 1629–1643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.067>
- Wulfsberg, J.P., Redlich, T., Bruhns, F.-L., 2011. Open production: Scientific foundation for co-creative product realization. Production Engineering 5, 127–139. <https://doi.org/10.1007/s11740-010-0286-6>
- Wynn, D.C., Clarkson, P.J., 2018. Process models in design and development. Res Eng Design 29, 161–202. <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>