EXPERTISES

JUIN 2020

PRC ECOSD 18.2

AVEC - Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception

RAPPORT FINAL

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec : EcoSD

Réseau EcoSD Eco-conception de systèmes durables

REMERCIEMENTS

Coline Assaiante (RTE)
Ghaya Ben Hamouda (CentraleSupélec)
Guillaume Busato (RTE)
Olaf de Hemmer Gudme (Valeur(s) & Management)
Julien Garcia (Groupe PSA)
Christophe Gobin (Vinci Construction France)
Ion Cosmin Gruescu (Université Lille 1)
Gonzalo Huaroc (Pôle National Eco-Conception)
Stéphane Le Pochat (EVEA)
Yann Leroy (CentraleSupélec)
Samuel Mayer (Pôle National Eco-Conception)
Nicolas Perry (Arts & Métiers Bordeaux)
Serge Rohmer (UTT)
Jean-Pierre Amath Sarr (CentraleSupélec)
Samuli Vaija (Orange)
Flore Vallet (IRT SystemX/CentraleSupélec)
Marc Vautier (Orange)

Merci également aux experts de la DGA (architecte, estimateur de coût, expert analyse fonctionnelle) qui ont contribués au cas d'étude

CITATION DE CE RAPPORT

Cluzel François, Pialot Olivier, Michelin Fabien, Janin Marc. 2020. AVEC – Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception. Rapport final du PRC EcoSD 18.2. 60 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : PRC EcoSD 18.2

Étude réalisée par CentraleSupélec et la Direction Générale de l'Armement (DGA) pour ce projet cofinancé par l'ADEME et EcoSD

Projet de recherche coordonné par : CLUZEL François, CentraleSupélec

TABLE DES MATIERES

Résumé ... 5
1. Contexte du projet ... 7
1.1. Fiche détaillée du projet ... 7
1.2. Structure du rapport ... 11
2. Gestion de projet ... 12
2.1. Moyens mobilisés ... 12
2.1.1. Moyens financiers ... 12
2.1.2. Ressources humaines ... 12
2.1.3. Cas d'étude ... 13
2.2. Chronologie du projet ... 13
3. Méthodologie ... 15
3.1. Phase 1 : Etat de l'art et diagnostic industriel ... 16
3.2. Phase 2 : Cas d'étude ... 16
3.3. Phase 3 : Rédaction des livrables ... 16
3.4. Phase 4 : Publication d'un guide méthodologique ... 17
4. Principaux résultats obtenus ... 18
4.1. Synthèse de l'état de l'art ... 18
4.2. Diagnostic industriel ... 19
4.3. Analyse des cas d'étude et recommandations ... 22
4.3.1 Analyse du cas DGA ... 22
4.3.1.1 Contexte de la DGA ... 22
4.3.1.2 Présentation du système à concevoir ... 23
4.3.1.3 Réunion avec un animateur AF ... 23
4.3.1.4 Réunion avec un architecte ... 24
4.3.1.5 Réunion avec des estimateurs de coût ... 25
4.3.1.6 Réflexions sur intégration de l'environnement en conception ... 25
4.3.2 Ateliers méthodologiques en enseignements ... 32
4.3.2.1 Micro-ateliers-brainstorming DGA du 3 Avril 2019 ... 32
4.3.2.2 Ateliers méthodologiques des 26 Avril et 28 Mai ... 33
4.3.2.3 Le raisonnement ValeurS ... 37
4.3.3 Recommandations méthodologiques ... 37
4.3.3.1 Critères et stratégie de choix des éléments méthodologiques ... 37
4.3.3.2 Recommandations méthodologiques ... 38
4.4 Retour d'expérience de la DGA, enseignements et perspectives pour la DGA ... 44
4.4.1 Contexte et besoin DGA : l'intégration de la dimension environnementale en amont de la conduite des projets d'armement ... 44
4.4.2 Retour d'expérience sur le cas d'étude et les propositions méthodologiques : une méthodologie agile, adaptée au dimensionnement de systèmes complexes. ... 45
4.4.3 Perspectives : Transcription dans les processus DGA et mise en application. ... 46

5. Perspective : rédaction d'un guide méthodologique 48
6. Valorisation des résultats et conclusion 52
6.1. Valorisation des résultats 52
6.2. Conclusion 52
7. Annexes 53
7.1. Questionnaire destiné aux partenaires industriels du projet 53
7.2. Rapport de mémoire thématique de Ghaya Ben Hamouda 56
Références bibliographiques 57
Index des tableaux et figures 58
Sigles et acronymes 58

Résumé

Le projet AVEC (Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception) est un projet mené dans le cadre du réseau EcoSD et co-financé par EcoSD et l'ADEME, porté par CentraleSupélec (François Cluzel, Olivier Pialot) et la DGA (Fabien Michelin, Marc Janin), avec la participation d'autres membres industriels ou universitaires du réseau EcoSD. Le projet vise à investiguer les liens entre les démarches d'Analyse de la Valeur et d'Analyse Fonctionnelle d'un côté, et les approches d'Eco-Conception et d'Analyse de Cycle de Vie de l'autre. En particulier est étudiée la manière dont la dimension environnementale peut intégrer une approche d'Analyse de la Valeur en contexte industriel. Pour mener à bien cet objectif, un état de l'art de la littérature scientifique a été mené conjointement à un diagnostic des méthodes, outils et pratiques chez les industriels participant au projet. A l'issue de ce travail préparatoire, deux cas d'étude (un à la DGA, en partie confidentiel, un sur un cas non confidentiel de produit) ont permis de parcourir l'ensemble d'un processus d'Analyse de la Valeur et de discuter les différentes pistes d'intégration de la dimension environnementale. Le rapport aboutit à un ensemble de recommandations méthodologiques. Un guide méthodologique plus conséquent est prévu par la suite après quelques travaux d'approfondissement.

Abstract

The project AVEC (Value Analysis for Eco-Design) is organized within the EcoSD network, co-funded by EcoSD and ADEME, and managed by CentraleSupélec (François Cluzel, Olivier Pialot) and DGA (Fabien Michelin, Marc Janin), with the participation of other industrial or acamedic EcoSD members. The project aims at investigating the links between approaches of Value Analysis and Functional Analysis on the one hand, approaches of Eco-Design and Life Cycle Assessment on the other hand. In particular, the different ways to integrate the environmental dimension in a Value Analysis approach in an industrial context are studied. To reach this objective, a state of the art of the scientific literature is conducted, jointly with a diagnosis of methods, tools and practices at the industrial partners of the project. At the end of the preparatory work, two case studies (one with DGA, partially confidential, the second on a non-confidential product) give the opportunity to cover the totality of a Value Analysis process and to discuss the different leads to integrate the environmental dimension. The report ends on a set of methodological recommendations. A more substantial methodological guidebook is planned in a near future after some further works.

1. Contexte du projet

Le projet *AVEC – Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception* est un Projet de Recherche Collaboratif (PRC) co-financé par le réseau EcoSD (www.ecosd.fr) et l'ADEME. Le projet a été soumis et sélectionné dans l'appel à PRC 2018 du réseau EcoSD, par un consortium de membres du réseau EcoSD mené par CentraleSupélec (François Cluzel, Olivier Pialot) et la Direction Générale de l'Armement (DGA, Fabien Michelin et Marc Janin). Le projet a démarré en octobre 2018 pour s'achever au printemps 2020.

Le projet vise à investiguer les liens entre les méthodes et outils d'Analyse de la Valeur et d'Analyse Fonctionnelle d'un côté, d'Eco-Conception et d'Analyse de Cycle de Vie de l'autre, et à identifier comme les premiers peuvent servir au mieux les finalités de l'éco-conception, à savoir minimiser l'impact environnemental d'un produit ou service sur l'ensemble de son cycle de vie.

1.1. Fiche détaillée du projet

1. Description courte du projet
Titre du projet : AVEC - Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception
Type de projet : Projet de Recherche Collaboratif (<>30k€) **Subvention demandée :** 28 K€
Porteur universitaire (structure et Nom/Prénom) **: CentraleSupélec - François CLUZEL**
Porteur industriel (structure et Nom/Prénom) **: DGA – Fabien MICHELIN – Marc JANIN**

2. Enjeux scientifiques et techniques du projet de recherche collaboratif

Le projet AVEC (**Analyse de la Valeur pour l'Eco-conception**) est issu des réflexions engagées lors de l'Atelier EcoSD de mars 2018. Lors de cet atelier, il a été fait le constat par plusieurs participants présents, académiques et industriels, qu'il y aurait **un intérêt mutuel à travailler sur les approches d'Analyse de la Valeur (AV) et d'Analyse Fonctionnelle (AF)** (voir par exemple et parmi d'autres normes NF EN 12973:2000) **au service de l'Eco-Conception (EC) et de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)**. Il semble aujourd'hui exister différentes approches, certaines citées par des chercheurs ou industriels présents lors de l'atelier, pour lier les deux domaines, trop souvent décorrélés. Citons par exemple l'approche DECADIESE développée entre autres avec Vinci Construction pour recentrer la construction ou la rénovation de **bâtiments** autour de la durabilité et la valeur pour l'usager (Cluzel et al. 2017). L'approche est construite en particulier autour de **fonctions d'usage génériques** et inhérentes à tout bâtiment, utilisées comme référentiel de projection de la valeur, en particulier environnementale (éco-efficience), du bâtiment, pour éviter de procéder à une AF spécifique.

Un état de l'art de ces approches et leur illustration sur des cas d'étude serait déjà une première étape valorisable pour plusieurs acteurs du réseau, mais le projet proposé ambitionne d'aller plus loin. La DGA, qui propose de porter le projet avec CentraleSupélec, est particulièrement intéressée par la thématique pour **évaluer les impacts environnementaux et économiques des briques fonctionnelles en phase amont de conception** afin de nourrir le processus de décision. Il s'agit de réintégrer en AV/AF des scénarios d'usage (utilisation en conditions opérationnelles) et de fin de vie (démantèlement et dépollution) réalistes et de les étudier au regard de l'impact environnemental des systèmes conçus. A l'heure actuelle, la priorisation des fonctions d'un système à satisfaire est bien réalisée dès les phases amont de la conception (via l'expression du besoin des utilisateurs : les forces). Cependant, la mise en perspective de ces fonctions vis-à-vis des coûts d'usage (liées aux taux de disponibilité du matériel, aux modifications à mi-vie, à la maintenance, à la logistique, à l'usage de consommables, à la gestion des cas d'obsolescences…) et des impacts environnementaux liés aux phases d'utilisation et de fin de vie n'est pas entreprise. Il s'agit donc d'explorer les méthodes et outils permettant cette **remontée d'information dans un processus d'AV/AF** et d'aboutir à une meilleure prise en compte de la dimension environnementale **lors de la spécification de systèmes industriels**.

Par ailleurs, l'AV/AF peut également aider à mieux structurer les démarches d'évaluation environnementale, et en particulier l'**ACV**, **sur des produits multifonctionnels**. EVEA, partenaire du projet, a recensé plusieurs questionnements d'industriels sur le couplage entre AV/AF et EC/ACV et s'interroge donc sur le couplage des deux approches par des outils ou indicateurs pertinents. Le Groupe PSA s'intéresse également à ce sujet en l'appliquant à l'électrification des véhicules (**analyse des coûts** de batteries) et de fin de vie (recyclage et seconde vie). Enfin, la participation d'Orange permettre de **porter la réflexion non pas seulement sur de gros systèmes industriels, mais également sur des produits moins complexes** comme les emballages de boxes internet ou décodeurs TV dont les ACVs pourront être mises à disposition.

Le champ proposé est donc vaste. **Selon les secteurs industriels, les besoins des entreprises pour de telles méthodes peuvent revêtir des natures et objectifs très différentes**. Le champ nécessite donc d'être exploré pour tout d'abord recenser les approches existantes, leurs champs d'application et de validité, puis proposer des évolutions et adaptations pertinentes au regard des besoins des industriels partenaires.

Pour cela, il nous semble tout à fait opportun d'**associer à ce projet un expert en Analyse de la Valeur**. Olaf de Hemmer Gudme (Valeur(s) et Management, membre du conseil d'administration et ancien président de l'Association Française pour l'Analyse de la Valeur (AFAV)) apportera son expertise et son réseau, représenté par un ouvrage récent (De Hemmer Gudme & Poissonier 2017). Sa contribution permettra d'orienter les recherches et de créer des liens pour d'éventuels travaux ultérieurs avec la communauté française d'Analyse de la Valeur.

3. Finalités et Objectifs du projet de recherche collaboratif

Le projet AVEC est né d'un besoin exprimé par certains industriels et académiques du réseau EcoSD de défricher le champ de l'AV/AF au service de l'Eco-Conception et l'ACV. Ce constat est mutuellement partagé puisque des contacts récents avec des experts en Analyse de la Valeur ont également soulevé ce besoin. Au regard de ces éléments, les membres du projet proposent de traiter les objectifs suivants :

1. Objectif 1 : Réaliser un état de l'art des approches existantes

Il ressort de ces constats que l'objectif premier du projet AVEC est de réaliser un état de l'art détaillé des approches existant dans la littérature et des pratiques de l'industrie liant les deux domaines. La contribution de Olaf de Hemmer Gudme et potentiellement de son réseau d'experts en Analyse de la Valeur permettra d'accompagner les recherches bibliographiques. Par ailleurs certaines démarches pertinentes au regard du périmètre fixé ont été développées ou ont été portées à la connaissance de membres du réseau. Ces démarches, ainsi que celles jugées les plus pertinentes, feront l'objet d'une documentation plus précise qui fait l'objet du second objectif.

2. Objectif 2 : Identifier les besoins des partenaires industriels et documenter les approches les plus pertinentes (fiches méthodologiques et cas d'étude)

Dans la continuité du premier objectif, une étude sera menée pour identifier auprès des partenaires industriels du projet (DGA, PSA, Orange EVEA, Vinci via Christophe Gobin, et plus généralement les industriels du réseau intéressés) les besoins en terme de méthodes autour de l'AV/AF et l'EC/ACV, qui peuvent revêtir des objectifs de nature très diverses. Sur cette base seront sélectionnées les 5 à 10 approches de la littérature jugées les plus pertinentes, qui seront synthétisées sous forme de fiches méthodologiques illustrées par des cas d'étude préexistants.

3. Objectif 3 : Adapter/développer une ou des approches méthodologiques

A partir des besoins des industriels et de l'état de l'art réalisé, et en parallèle de l'objectif 4, des propositions (adaptation, hybridation, développement) méthodologiques seront réalisées.

4. Objectif 4 : Tester les propositions méthodologiques sur des cas d'étude industriels

Les propositions méthodologiques de l'objectif 3 seront testées et validées sur des cas d'étude industriels (2 à 4, par exemple : spécification de systèmes complexes (DGA), construction durable (Vinci), batteries automobiles (PSA), emballages (Orange) et l'ensemble sera documenté. La faisabilité des approches sera testée selon plusieurs aspects :

- Est-ce faisable en pratique ? Les approches proposées s'intègrent-elles de manière satisfaisante dans les processus de conception des entreprises (disponibilité des données,

adéquation des moyens (coût et temps), etc.) ?

- Est-ce pertinent ? : Quelle valeur apporte une telle analyse par rapport à l'effort consenti ? Obtient-on de meilleurs résultats et suivant quels critères ? L'approche permet-elle de mieux innover, de se différencier ?

5. Objectif 5 : Capitaliser l'état de l'art, les verrous scientifiques et les avancées effectuées et dresser les perspectives

L'ensemble des travaux prendra la forme d'un guide méthodologique qui permettra d'aboutir à des recommandations et bonnes pratiques pour implémenter les méthodes dans l'éco-conception de systèmes complexes. Ce guide méthodologique permettra de disposer, dans la mesure du possible, de méthodes « clés en main » adaptées d'une part aux systèmes complexes (application chez DGA, Vinci et Groupe PSA par exemple) et aussi aux produits plus simples (application chez Orange ou auprès de clients ou partenaires d'EVEA ou du Pôle National Eco-Conception). Des perspectives de recherche seront identifiées pour éventuellement permettre la soumission d'autres projets de recherche (par exemple ANR).

4. Descriptif détaillé des taches du projet de recherche collaboratif

Les grandes tâches et livrables du projet sont listés dans le tableau page suivante. On peut distinguer **deux grandes phases du projet** :

1. La première phase vise à réaliser un **état de l'art** et à documenter sur des **cas d'étude existants** les méthodologies et outils mêlant Analyse de la Valeur/Analyse Fonctionnelle et Eco-Conception/Analyse de Cycle de Vie.
2. La seconde phase vise à **développer et à tester** certaines de ces méthodologies et outils, ou des évolutions de ces méthodologies et outils sur des **cas d'étude des industriels partenaires**, et à **identifier les verrous scientifiques** à résoudre.

Pour mener à bien ces tâches, l'organisation proposée du projet est la suivante :

- Dès l'acceptation du projet, diffusion d'un descriptif détaillé aux membres du réseau EcoSD
- Réunion de lancement du projet en septembre ou octobre 2018
- Réunions d'avancement en janvier, mars (à l'issue de la première phase) et juin 2019
- Restitution à mi-projet lors du séminaire EcoSD de juin 2019
- Réunion de clôture du projet en octobre 2019 (à l'issue de la deuxième phase)

Les réunions peuvent être adossées aux séminaires EcoSD pour rassembler un nombre maximal de participants.

N°	Intitulé de la tâche	Responsable de tâche + Participants actifs	Autres membres du groupe de travail	Intitulé du livrable avec valeur créée pour le Réseau EcoSD	Délais de livraison
1	Etat de l'art des méthodes et outils existants	**CentraleSupélec** + DGA, V&M	Membres intéressés	**Etat de l'art et analyse critique** de la littérature relative à l'Analyse de la Valeur, l'Analyse Fonctionnelle, pour l'Eco-Conception et l'ACV	Mars 2019
2	Fiches méthodologiques	**CentraleSupélec** + DGA, V&M	Membres intéressés	**Rédaction de fiches méthodologiques** pour illustrer précisément **4 à 10 démarches** particulièrement pertinentes, illustrées sur des **cas d'étude existants**	Mars 2019
3	Propositions méthodologiques	**DGA** + CentraleSupélec, V&M	Membres intéressés	**Proposition d'une ou plusieurs méthodologies** adaptée(s) au cas des industriels partenaires	Octobre 2019

4	Cas d'étude	**DGA** + CentraleSupélec, V&M	Membres intéressés	**Application des propositions méthodologiques** sur des cas d'étude industriels	Octobre 2019
5	Guide méthodologique et perspectives de recherche	**CentraleSupélec, DGA**	Membres intéressés	**Rédaction d'un guide méthodologique complet** reprenant les livrables précédents, éditable dans la collection EcoSD/Presse des Mines	Décembre 2019

5. Coût total du PRC, subvention demandée à EcoSD et justification des moyens envisagés

Le projet proposé est centré autour de l'embauche d'un post-doc pour une durée de 6 mois, précédé d'un mémoire thématique de Master Recherche.

Les moyens envisagés sont donc les suivants :

- Un mémoire thématique de Master Recherche à CentraleSupélec (octobre 2018 à mars 2019), qui travaillera principalement sur les tâches 1 et 2 : 0€
- Un post-doc de 6 mois hébergé au Laboratoire Génie Industriel (janvier à juin 2019), qui travaillera principalement sur les tâches 3 à 5 (3830€ brut chargé par mois) : 22720€
- Frais de gestion CentraleSupélec (12%) : 3360€
- Déplacements, organisation des réunions et frais divers : 1920€
- **Coût total : 28000€**

6. Mode de valorisation des résultats du PRC et perspectives du PRC

Le PRC vise à faire un état de l'art des pratiques d'Analyse de la Valeur utile à l'Eco-Conception de systèmes de produits et services, à identifier différentes méthodologies existantes, à émettre des propositions méthodologiques et à tester ces propositions sur deux cas d'étude au minimum.

En ce sens, les résultats permettront à minima la publication d'un article de conférence internationale (type DESIGN ou LCE), voire d'un article de revue internationale (par exemple Journal of Cleaner Production).

Par ailleurs, une publication des résultats du PRC sous la forme d'un « guide méthodologique » qui pourrait être publié aux Presses des Mines dans la collection EcoSD.

Au-delà des publications proposées pour valoriser les résultats du PRC, l'implication proposée d'un partenaire extérieure expert en Analyse de la Valeur et proche de l'AFAV permettrait de tisser des liens entre les deux domaines, et si les résultats s'avèrent concluant, d'envisager le dépôt de projets de recherche communs type ANR ou ADEME.

Enfin, les résultats du projet pourront également être intégrés au contenu de certains cours doctoraux d'excellence (par exemple CDE4 *Eco-design of complex systems*).

7. Autres partenaires et organisme gestionnaire

Autres partenaires du réseau ECOSD impliqués (préciser le nom du contact) :

- *Académiques : Université Lille 1 (Ion Cosmin GRUESCU), Arts & Métiers Bordeaux (Nicolas PERRY), UTT (Serge ROHMER)*
- *Industriels : Groupe PSA (Julien GARCIA), EVEA (Stéphane LE POCHAT), IRT SystemX (Flore VALLET), Orange (Samuli Vaija), Christophe GOBIN, Samuel MAYER (Pôle Eco-Conception)*

Partenaire hors réseau ECOSD impliqués : *Valeur(s) & Management (Olaf DE HEMMER GUDME)*

Organisme gestionnaire envisagé : CentraleSupélec

1.2. Structure du rapport

Le présent rapport est le rapport final du projet AVEC. Il présente en section 2 les moyens mis en œuvre pour réaliser le projet. La section 3 décrit la méthodologie qui a permis d'atteindre les résultats présentés en section 4. La section 6 décrit le plan détaillé d'un guide méthodologique en cours de rédaction qui sera l'aboutissement ultime du projet mais nécessite une poursuite des travaux. Enfin la section 6 proposera une courte conclusion. Les annexes sont présentées en section 7.

2. Gestion de projet

La présente section détaille la chronologie du projet, les moyens mis en œuvre et les interactions entre les membres du consortium qui ont permis de déployer le programme scientifique présenté dans les sections suivantes.

2.1. Moyens mobilisés

2.1.1. Moyens financiers

Le budget du projet était de 28 000€, financé à moitié par le réseau EcoSD et à moitié par l'ADEME. L'ensemble de ces fonds, au-delà des frais de gestion et des frais de déplacement, ont permis l'embauche d'un chercheur post-doctorant (Olivier Pialot) pendant 6 mois qui a été la ressource principale du projet sur les phases 2 et 3 (voir section 3).

2.1.2. Ressources humaines

Le projet a été organisé autour de l'équipe des porteurs :

- CentraleSupélec : François Cluzel, Maître de Conférence au Laboratoire Génie Industriel, rejoint ensuite par Olivier Pialot, docteur recruté sur le projet ;
- DGA : Marc Janin et Fabien Michelin, docteur, équipe Maîtrise des risques environnementaux et éco-conception.

Une étudiante du Master Ingénierie des Systèmes Complexes de l'Université Paris-Saclay a travaillé sur la phase 1 du projet :

- Ghaya Ben Hamouda, en M2 mention Ingénierie de la Conception, qui a effectué son mémoire thématique de master sur l'état de l'art du projet AVEC ;

Deux contributeurs ont également joué un rôle central dans le projet en participant activement aux réflexions sur le cas d'étude « Aspirateur balais sans fil » :

- Olaf de Hemmer Gudme, consultant en Analyse de la Valeur, animateur du réseau d'experts Valeur(s) et Management, ancien président de l'Association Française pour l'Analyse de la Valeur ;
- Christophe Gobin, ancien directeur scientifique de Vinci Construction France, président du Conseil Scientifique de l'ESTP.

D'autres industriels ou universitaires membres du réseau EcoSD ont contribué au projet lors des réunions plénières ou lors d'entretiens dédiés. Ils pourront également être mobilisés pour la rédaction du guide méthodologique (voir section 5) :

- Coline Assaiante (RTE)
- Guillaume Busato (RTE)
- Julien Garcia (Groupe PSA)
- Ion Cosmin Gruescu (Université Lille 1)
- Gonzalo Huaroc (Pôle National Eco-Conception)
- Stéphane Le Pochat (EVEA)
- Yann Leroy (CentraleSupélec)
- Samuel Mayer (Pôle National Eco-Conception)
- Nicolas Perry (Arts & Métiers Bordeaux)
- Serge Rohmer (UTT)
- Samuli Vaija (Orange)
- Flore Vallet (IRT SystemX/CentraleSupélec)
- Marc Vautier (Orange)

Enfin, la DGA a mobilisé différents experts durant le cas d'étude mené sur un système DGA (voir section 4).

2.1.3. Cas d'étude

Plusieurs cas d'étude ont été mobilisés durant le projet. Certains de ces cas ont permis d'alimenter le diagnostic industriel de l'étude pour identifier les méthodes, outils et pratiques en vigueur dans différents secteur industriels, et d'identifier les besoins de ces industriels :

- Cas Automobile, proposé par le Groupe PSA (Julien Garcia) ;
- Cas Construction, proposé par Vinci Construction (Christophe Gobin) ;
- Cas Télécommunications, proposé par Orange (Marc Vautier, Samuli Vaija) ;
- Cas Energie, proposé par RTE (Guillaume Busato).

Deux cas ont fait l'objet d'un travail beaucoup plus approfondi lors de la phase 2 (voir section 4) :

- Cas proposé par la DGA, soumis à confidentialité, sur lequel ont travaillé Marc Janin, Fabien Michelin, Olivier Pialot et François Cluzel ; ce cas fait l'objet d'une synthèse en section 4.3, et d'un retour d'expérience et de perspectives en section 4.4 ;
- Cas « Aspirateur balais sans fil » qui a permis d'alimenter le projet AVEC et le cas DGA en ôtant toute contrainte de confidentialité, et sur lequel ont travaillé Marc Janin, Fabien Michelin, Olivier Pialot, François Cluzel, Olaf de Hemmer Gudme et Christophe Gobin. Ce cas permet de compléter les résultats du cas DGA en section 4.3.

2.2. Chronologie du projet

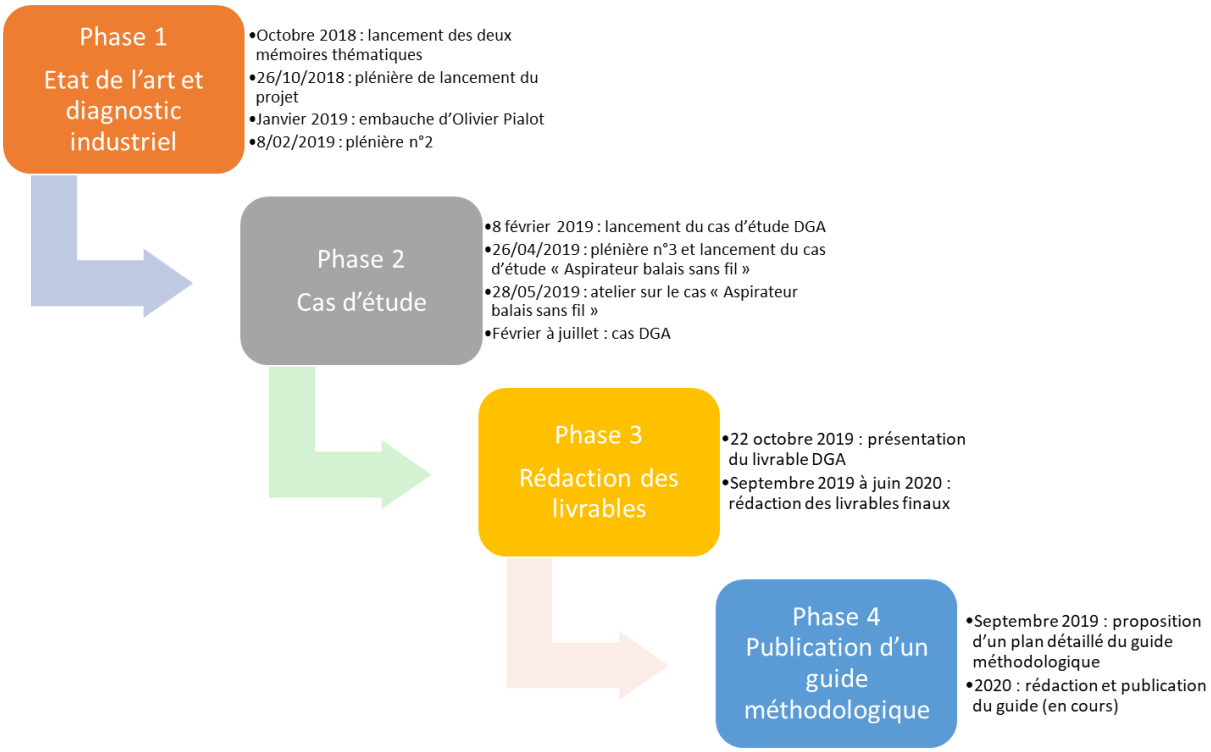


Figure 1. Chronologie du projet AVEC

Le projet AVEC a été structuré finalement en quatre phases qui apparaissent ci-dessus. Ces quatre phases sont détaillées d'un point de vue méthodologique dans la section suivante.

Trois réunions plénières ont eu lieu au fil du projet :

- 26 octobre 2018, à la DGA : introduction du projet, tour de table, présentation de Olaf de Hemmer Gudme, discussion
- 8 février 2019, chez RTE : présentation de l'avancement du mémoire thématique de Ghaya Ben Hamouda, présentations des orientations proposées par Olivier Pialot, discussion autour des cas d'étude
- 26 avril 2019, à la DGA : point d'avancement, présentation des travaux finalisés de Ghaya Ben Hamouda, atelier de réflexion sur le cas « Aspirateur balais sans fil » ; Suite à cet atelier

avec un nombre restreint de participants, le groupe de travail a décidé de poursuivre les travaux sur une autre demi-journée le 28 mai 2019.

- 3 juillet 2019 : plénière annulée faute d'un nombre suffisant de participants, la communication s'est faite par e-mail.

Le cas DGA a été traité en cercle restreint (François Cluzel, Olivier Pialot, Marc Janin, Fabien Michelin) pour cause de confidentialité. 7 réunions de travail organisées entre février et octobre 2019 ont permis de rencontrer différents experts et d'aboutir à un rapport final dont une synthèse est proposée dans ce rapport (voir section 4.3).

Enfin, de nombreux entretiens ont été effectués, ou des questionnaires recueillis, auprès des différents acteurs du projet par Olivier Pialot et François Cluzel pour caractériser les pratiques, méthodes et outils de ces acteurs : Orange, RTE, Vinci Construction, Groupe PSA, et enfin Olaf de Hemmer Gudme.

3. Méthodologie

La présente section décrit la méthodologie de recherche qui a été déployée tout au long du projet. La première étape a consisté à réaliser un état de l'art de la littérature relative aux approches d'Analyse de la Valeur et d'Analyse Fonctionnelle en lien avec des démarches d'Eco-Conception ou d'Analyse de Cycle de vie, et à expliciter les approches et pratiques existantes chez les partenaires industriels du projet. Dans un second temps, un groupe de travail a été constitué pour travailler conjointement sur un cas d'étude de la DGA (confidentiel) et un cas simplifié (non confidentiel). La troisième phase a permis de rédiger les différentes livrables du projet. Enfin, la quatrième phase, toujours en cours, permettra d'aboutir à la publication d'un guide méthodologique. La Figure 2 ci-dessous précise ce processus méthodologique.

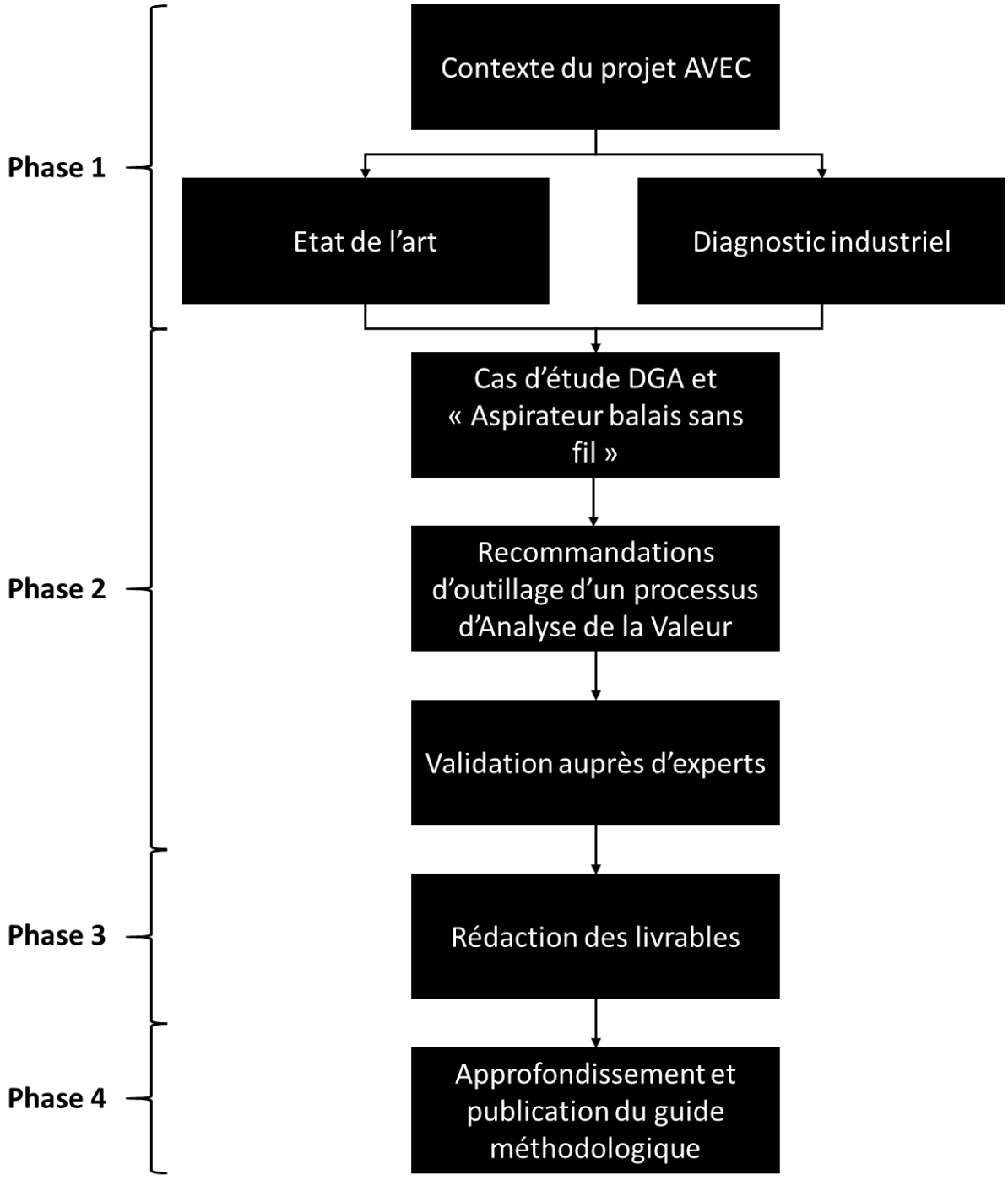


Figure 2. Processus méthodologique du projet AVEC

3.1. Phase 1 : Etat de l'art et diagnostic industriel

La première phase du projet a consisté à réaliser un état de l'art de la littérature scientifique autour des méthodes et outils d'éco-conception ou d'Analyse de Cycle de Vie impliquant des approches d'Analyse de la Valeur ou d'Analyse Fonctionnelle. Ce travail a été mené conjointement à une série d'entretiens auprès des acteurs industriels du projet pour caractériser leur contexte industriel, les méthodes, outils et approches d'Analyse de la Valeur, d'Analyse Fonctionnelle, d'Eco-Conception ou d'ACV utilisées.

L'état de l'art a été mené dans le cadre du mémoire thématique de Ghaya Ben Hamouda, et complété par Olivier Pialot.

Les entretiens auprès des partenaires industriels ont été menés par Olivier Pialot et François Cluzel. Un questionnaire a été rédigé en amont par Olivier Pialot pour servir de guide d'entretien, ou bien, lorsque l'entretien n'était pas possible, a été renvoyé par e-mail par l'industriel.

Ce questionnaire est présenté en annexe du rapport.

3.2. Phase 2 : Cas d'étude

Deux cas d'étude ont ensuite été traités en détail :

- Un cas fourni par la DGA, confidentiel, qui a permis de balayer la totalité d'un processus standardisé d'Analyse de la Valeur pour spécifier du matériel de défense (débouchant sur un appel d'offre vers les industriels), en s'appuyant sur :
    - L'instruction ministérielle 1618 relative aux opérations d'armement (Ministère des Armées, 2019)
    - Les experts Eco-conception de la DGA (Marc Janin et Fabien Michelin, co-porteur du projet AVEC)
    - D'autres experts DGA impliqués tout au long du processus d'AV : estimateurs de coûts, animateur Analyse Fonctionnelle, architecte système…
- Un cas « Aspirateur balais sans fil » non confidentiel fourni par Olivier Pialot sur la base de travaux antérieurs, et qui a permis :
    - D'impliquer plus de membres du projet (en l'occurrence Christophe Gobin et Olaf de Hemmer Gudme)
    - D'abstraire les résultats du projet DGA de tout élément confidentiel pour alimenter ce cas et pousser les réflexions dans un groupe de travail élargi.

Ainsi, les deux cas se sont nourris mutuellement pour aboutir à des recommandations d'outillage d'un processus complet d'Analyse de la Valeur pour répondre aux questions suivantes :

- *Un processus d'Analyse de la Valeur est-il compatible avec une démarche d'Eco-Conception ?*
- *Les outils d'Analyse de la Valeur sont-ils adaptés à cette prise en compte, ou faut-il leur adjoindre d'autres outils d'Eco-Conception ?*
- *L'ACV est-elle compatible avec un processus d'Analyse de la Valeur ? Si oui, à quel moment et avec quel niveau de détail peut-elle s'insérer dans la démarche ?*
- *Quels sont les freins au déploiement d'une démarche d'Analyse de la Valeur intégrant fortement la dimension environnementale ?*

3.3. Phase 3 : Rédaction des livrables

Les livrables suivants ont été produits au fil de l'eau pendant le projet :

- Mémoire thématique de Ghaya Ben Hamouda (voir section 4.1) : *« Méthodologies pour l'Analyse de la Valeur dans une démarche d'écoconception »*
- Rapport confidentiel pour la DGA (une version non confidentielle est présentée en section 4.3)

Le présent rapport propose une synthèse des deux premières phases du projet, et présente la phase 4 comme une perspective d'approfondissement de ces résultats. Ainsi à la section 4 de ce document, seront présentés des synthèses de l'état de l'art, du diagnostic industriel, des résultats et

recommandations issues des cas d'étude, basés sur les premiers livrables et d'autres matériaux du projet AVEC non exploités encore, ainsi qu'une note d'étonnement de la DGA suite au travail réalisé.

3.4. Phase 4 : Publication d'un guide méthodologique

La phase 4 du projet est en cours et reste encore à finaliser dans les prochains mois. Elle permettra, en reprenant, analysant et approfondissant l'ensemble des données récoltées dans le cadre du projet AVEC, d'aboutir à un guide méthodologique pour outiller et documenter une démarche d'Analyse de la Valeur intégrant fortement la dimension environnementale. Le plan détaillé de cet ouvrage en préparation est présenté en section 5.

4. Principaux résultats obtenus

Cette section présente les principaux résultats obtenus dans les phases 1 à 3 du projet ; la phase 4 faisant l'objet de la section suivante.

4.1. Synthèse de l'état de l'art

Pour débuter le Projet AVEC, un état de l'art sur l'intégration des aspects environnementaux en conception a été mené par Ghaya Ben Hamouda (Master Recherche CentraleSupélec). Sur l'ensemble des travaux étudiés, il ressort une difficulté certaine d'application des résultats issus de la littérature en phase amont de conception : certains travaux sont assez théoriques (non appliqués sur un cas concret), d'autres requièrent une ACV (ce qui les destinent à des phases plus en aval de la conception) ou sont associés au QFD (démarche de conception différente de la pratique de l'AF et AV). C'est par exemple le cas de la méthode « Ecovalue analysis » (Oberender & Birkhofer, 2004) pour laquelle il avait été observé qu'une grande limitation résidait dans la quantification des impacts environnementaux avec l'usage de l'Eco-Indicator 99 qui ne me semble pas compatible avec le volume des données à collecter, en amont, et pour des systèmes très complexes. **Le rapport complet de Ghaya Ben Hamouda est disponible en annexe de ce rapport.**

Récurrents dans les discussions, les risques d'impacts environnementaux sont apparus comme un angle sous lequel reconsidérer le processus de conception. Au début des années 2000 est apparue l'approche E-FMEA (Lindahl 1999, 2001 ; Yen & Chen, 2005) qui considère l'AMDEC non pas comme l'identification des risques potentiels de défaillances d'un système mais comme une méthode faisant émerger les points clés de la performance environnementale dans un usage nominal. C'est dans cette veine que AMDECO (approche qualitative faisant le lien entre AMDEC et éco-conception développée par Serge Rohmer) (Rohmer & Younsi, 2009) a été conçu : le but est de faire des recommandations environnementales à partir de la caractérisation du Ecological Risk Priority Number (ERPN) de flux ou d'activités. Si AMDECO est centré sur les process d'un site de production, cette logique E-FMEA (illustrée en Figure 3) pourrait être reprise dans le cadre de la conception d'un nouveau système répondant à un Cahier des charges, avec des outils méthodologiques supplémentaires venant en support. En effet, prévenir les impacts environnementaux en les regardant comme des risques potentiels est une manière de faire de l'écoconception dès les phases amont de conception, sans attendre l'analyse de cycle de vie qui intervient tout en aval.

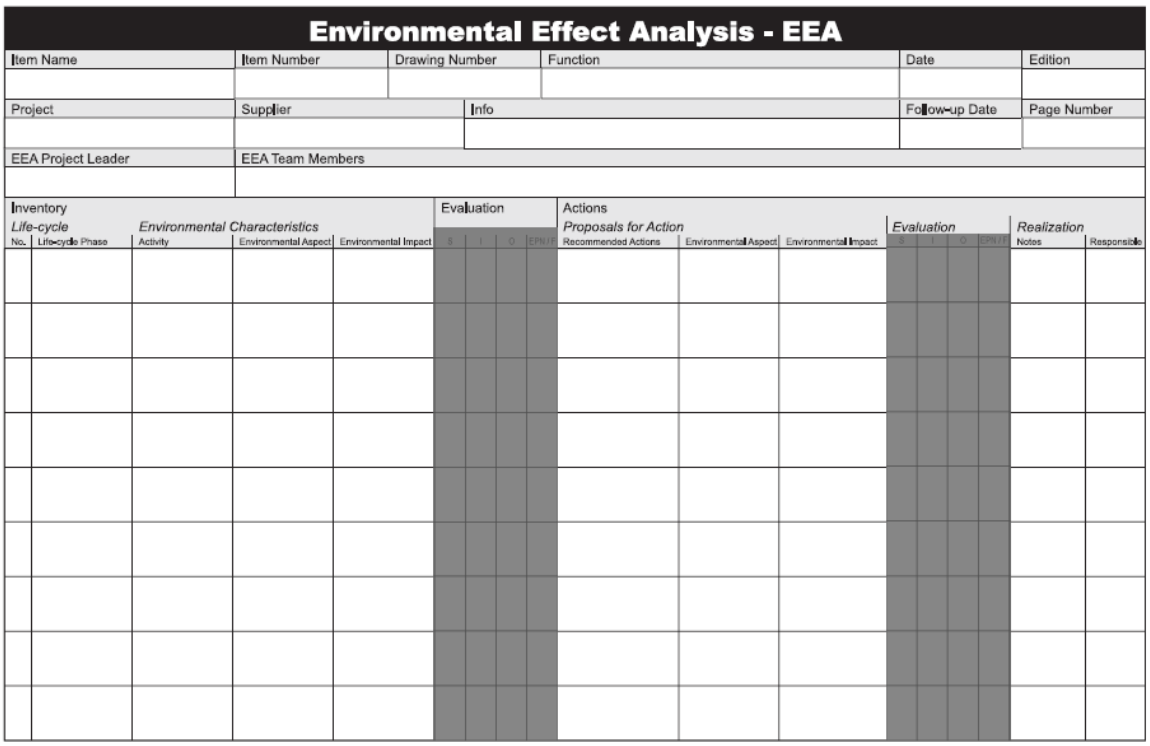


Figure 3. Capture d'écran de l'outil AMDECO (Rohmer & Younsi, 2009)

4.2. Diagnostic industriel

L'analyse des questionnaires auprès des industriels permet de préciser les contextes et besoins différents autour de ce projet AVEC, les différences de pratiques et enjeux tant en termes de processus de conception incorporant Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur, qu'en termes d'Eco-Conception et prise en compte des aspects environnementaux. Le Tableau 1 présente les contexte et besoins pour chaque industriel.

Groupe PSA	PSA s'intéresse au Projet AVEC au regard de 3 cas inhérents aux nouvelles tendances technologiques: Cas1 / Chaine de valeur de la batterie (transfert de valeur du constructeur vers un fournisseur, scénario EOL : seconde vie de la batterie, recyclage, matière noble à réutiliser …) Cas2 / on essaie de changer de Business model, de changer la manière de faire de la valeur (Service Free2move) >> une équipe de maintenance vient chercher le véhicule, le charge, le nettoie et le repositionne là où il faut. Comment on évalue ce changement dans la chaine de valeur ? Cas3 / Analyse de cycle de vie de la donnée : un smartphone à l'échelle d'une voiture Les grands questionnements derrière ces 3 cas sont la modélisation des nouveaux espaces de valeur (identification de valeurs de services multi-usages, chaine de valeur et scénarios d'usage intégrant de nouveaux acteurs) en intégrant l'environnement : Quelles méthodes adopter ? Les travaux de Olivier Guyon porte sur le service de partage de véhicule électrique "Free2move" avec les scénarios B2B et B2C pour satisfaire à la fois attractivité et impact environnemental.
Orange	Orange a l'enjeu dans le projet AVEC de définir les multiples usages de la LiveBox (produit multi-usages), c'est-à-dire de tracer les usages potentiels d'un produit qui a pour principal fonction de donner un point d'accès à un flux de données, pour l'élaboration d'un Brief Marketing in fine. Dans ce projet, Orange vise à apprendre tout ce que peut apporter AF-AV avec des exemples venant d'ailleurs.
RTE	RTE cherche à définir quelles spécifications doivent être intégrées dans leur Cahier des charges dans l'optique de concevoir les futurs systèmes auxiliaires, qui prendraient en compte les aspects environnementaux, la fiabilité et la facilité de maintenance dans le temps.
DGA	La DGA vise à définir les manières d'intégrer les aspects environnementaux au sein des projets de conception à venir, dès les phrases amont, et d'inclure cette notion dans la procédure interne de conception/développement de systèmes.
Vinci Construction France	Vinci Construction France/M. Gobin s'interroge sur les bonnes pratiques de spécifications dans les bâtiments, qui prendraient en compte les aspects environnementaux.

Tableau 1. Contexte et besoins des cas industriels étudiés

Le Tableau 2 présente les différences de pratiques et de processus de conception. Il ressort de cette analyse un point commun majeur dans cette étude, à savoir une même configuration : les entreprises concernées (sur les cas traités) élaborent le cahier des charges alors qu'elles ne sont pas conceptrice-productrice du produit. Cette configuration spécifique du donneur d'ordre qui essaie d'optimiser son cahier des charges va structurer les propositions de pistes de solutions envisagées par la suite.

Groupe PSA	(Nous n'avons pas rencontrés les interlocuteurs permettant de décrire le processus de conception de PSA.)
Orange	Le processus suit les étapes suivantes : . le marketing réalise le brief marketing (expression de besoin au niveau des usages) . les équipes techniques traduisent ces expressions de besoin de services en besoin fonctionnel et technique. Les industriels fournisseurs peuvent être consultés ; il est visé principalement des solutions normalisées et interopérables (Wifi…) et le respect de la règlementation (obligation de mode veille, matériaux…) . Aller/retour entre Orange et l'industriel retenu pour sur les choix des composants pour remplir les fonctions & besoins du service. Au sein d'Orange Lab, il existe les compétences pour évaluer & tester les performances des composants clés des box (Wifi, ASIC…). Difficulté : trouver des points de convergence entre Orange et le fournisseur, et s'assurer que les performances des composants seront bien à la hauteur des espérances
RTE	Chez RTE, les Cahiers des charges sont adaptés d'une génération à l'autre par un binôme technicien/acheteur au regard des changements de législation et des retours d'expérience, et avec de nouvelles fonctions. Il est possible de réduire certaines exigences et de tendre vers une conception au plus juste. L'idée est d'ajouter des "points de passage" obligatoire au regard des études réalisées par RTE sur les composants, sur la compatibilité/couplage des composants entre eux (notamment sur la problématique Chaleur), dans différents contextes et en visant une temporalité long terme et une maintenance minimisée et facilitée. Difficulté : comment intégrer ces "points de passage" obligatoires tout en respectant les règles des appels d'offre.
DGA	Dans un projet suivi par la DGA, 1/ les forces définissent les besoins de systèmes au regard de scénarios de mission, 2/ les besoins sont traduits en Cahier des charges fonctionnelles au sein de la DGA avec le support d'un animateur méthodes, 3/ un architecte système définit des premières alternatives de solutions techniques au regard du panorama des technologies potentielles et de leur maturité, 4/ des estimateurs de coûts évaluent les premières alternatives permettant de réaliser une première Analyse de la Valeur de manière à ajuster le cahier des charges, 5/ après quelques boucles d'"ajustement des spécifications", l'appel d'offre peut alors être rédigé et les offres des industriels sont évaluées par l'intermédiaire de grilles d'attribution de points en fonction du niveau atteint (primordial, important, souhaitable). Difficulté: trouver le bon équilibre entre les niveaux de fonctionnalités souhaitées du Cahier des charges et sa faisabilité afin de faire émerger les solutions avec un ratio coût/performance acceptable.
Vinci Construction France	Dans les bâtiments, le processus de conception fait intervenir 3 acteurs : le maitre d'ouvrage (commanditaire), le maître d'œuvre (architecte/bureau d'étude), et les entreprises de construction. Aujourd'hui, chacun "réécrit" le cahier des charges suivant sa vision. Le maitre d'ouvrage énonce des objectifs de conception, le maître d'œuvre les réinterprète en intégrant ses règles métiers avant que le constructeur ne fasse de même. En d'autres termes, le travail pluridisciplinaire n'est pas habituel, les données non suffisamment agrégées au cours du processus, et il n'existe pas vraiment un engagement sur les résultats à atteindre. Ainsi, indirectement, le coût de non-qualité est payé par le client (sauf s'il y a procès pour malfaçon). M. Gobin propose dans plusieurs ouvrages différentes pistes pour une pratique plus efficiente : . un set de fonctions génériques avec un jeu de données explicitées pour chaque phase du projet . une modélisation thermique dynamique (par éléments finis) associé à la conception de chaque bâtiment . une signature des performances effectives de chaque bâtiment revue et corrigée à intervalle régulier

Tableau 2. Grandes lignes des pratiques actuelles de conception des cas industriels

Le Tableau 3 présente les pratiques d'Eco-Conception et de prise en compte des aspects environnementaux.

Groupe PSA	Dans l'automobile, les normes environnementales sont particulièrement contraignantes: sur les moteurs, les normes imposant des rejets limites d'émissions sont remises à jour très régulièrement (normes EURO 6+ aujourd'hui), pour la fin de vie il existe la directive VHU (Taux de recyclabilité > 85%, taux de valorisation >95%), des objectifs de diminution de Consommation énergétique et d'émission de CO2 à l'échappement associés à des systèmes de pénalités ... mais il n'y a pas d'objectifs à proprement dit sur les critères environnementaux. En termes de spécifications, cela se traduit par des contraintes de masse, ou des objectifs de rendement de moteur par exemple, au-delà du respect des normes en vigueur.
Orange	La dernière Livebox d'Orange peut être considéré comme écoconçu (petit format, mode veille performant, coque inférieure en plastique recyclé, conception optimisée pour la fin de vie…). Ce produit est le résultat de près de 10 ans de lobbying interne et 3 générations de boxes, mais il n'en demeure pas moins que l'éco- conception doit être vue comme une source de réduction de coût (€) ou au mieux iso coût (cf. les packagings de boxes Orange). Le processus suivi est le suivant : . Rédaction d'un cahier des charges éco-conception sur la base de l'expression de besoin marketing . Analyse de cycle de vie sur les générations précédentes/actuelles de produits (ex. Livebox/décodeurs des générations 2 et 3 lors de la phase de conception de la Livebox 4) pour identifier les matériaux/composants/processus de fabrication avec le plus fort impact environnemental. . Fiche pratique Orange/Eco-systèmes – « Que deviennent une Livebox et son décodeur usagés confiés à Eco-systèmes ? » Logiciels d'ACV : EIME, Simapro, OpenLCA Utilisés ultérieurement : Granta CES Selector, BoM Analyzer et ResCoM Difficulté : être toujours présent / celui du compromis et du suivi au plus près de l'avancement du produit pour s'assurer que tout au long du développement les recommandations d'éco-conception soient bien prises en compte.
RTE	Chez RTE, les aspects environnementaux apparaissent comme critères des appels d'offre sur le principe de la mieux-disance avec un bonus associé. Il est demandé une ACV au fournisseur (sous Simapro) avec les réelles valeurs des industriels (et non des données moyenne). Des stratégies environnementales sont développées, avec des actions réparties dans chaque branche. Difficulté : la gestion des changements de pratiques.
DGA	A la DGA, les aspects environnementaux sont exprimés au sein du cahier des charges techniques sous la forme d'exigences de conception à respecter. L'application de ce cahier des charges est systématique, mais se borne majoritairement à la bonne application par l'industriel maître d'œuvre des dispositions règlementaires. Afin d'appliquer les enjeux environnementaux dans les phases amonts (définition du cahier des charges fonctionnel), une fonction principale "Préserver l'Environnement" est définie, mais son influence reste pour le moment limitée lors de la définition des concepts. Difficultés: 3 difficultés limitent cette ambition: 1/ La mobilisation de données environnementale fiables dans les phases amonts de choix des concept est complexe 2/ les enjeux environnementaux sont difficiles à valoriser vis à vis des forces (qui sont les commanditaires des besoins exprimés) et 3/ le travail de spécification pour un grand nombre de projet nécessite d'importantes ressources humaines pas toujours disponibles.
Vinci Construction France	Dans le bâtiment, l'approche actuelle prend la forme de la certification HQE qui concernent 14 cibles, mais qui est insuffisant car pour l'obtenir, d'une part il suffit de respecter un certain niveau d'exigence sur certaines cibles seulement, d'autre part il s'agit d'une approche caractérisant davantage les moyens mis en œuvre que la certification de résultats obtenus. Sur la fin de vie, des exigences de démontabilité, réversibilité (solution anticipée permettant d'accueillir indifféremment des logements ou des bureaux, au moyen de modifications minimes) des bâtiments peuvent être ajoutées. Sont utilisés les logiciels d'ACV et celui du CSTB. Difficulté : les performances effectives de chaque bâtiment ne sont pas réellement mesurées. Il est donc difficile de capitaliser et d'améliorer les conceptions. M. Gobin propose une signature de chaque bâtiment avec mesure des performances effectives, revue et corrigée à intervalle régulier au cours du temps.

Tableau 3. Grandes lignes des pratiques actuelles d'écoconception des cas industriels

L'analyse des besoins et pratiques des industriels a en outre fait émerger 3 problématiques distinctes pour le projet AVEC :

- Comment prendre en compte les aspects environnementaux en conception (au sein d'une démarche AF et AV) et en considérant les spécificités d'une entreprise donneur d'ordre mais non conceptrice-productrice ?
    - Quelles sont les possibilités « techniques » d'intégrer les aspects environnementaux dans AF et AV ? Quelles possibilités dans le processus spécifique suivant les contextes ?
- Comment stratégiquement amener à systématiquement prendre en compte les aspects environnementaux en conception de systèmes, même lorsque la politique de l'entreprise n'est pas pro-active ?
    - Quelles sont les parties prenantes à impliquer ? Qui sont les relais, les alliés ? Quels sont les sujets/points de convergence ? Les notions pour élargir le spectre des considérations ?
- Comment gérer le problème de ressources humaines du Métier Eco-conception ?
    - Sous quel angle/quelle forme intégrer les aspects environnementaux dans AF et AV ? Quelles ressources cela nécessite ? Qui fait quoi ? Comment amener différents acteurs à contribuer à la prise en compte des aspects environnementaux en conception ?

4.3. Analyse des cas d'étude et recommandations

4.3.1 Analyse du cas DGA

4.3.1.1 Contexte de la DGA

Le principal cas d'application du Projet AVEC (intégration des considérations environnementales en conception, notamment au sein des pratiques de l'Analyse Fonctionnelle (AF) et de l'Analyse de la Valeur (AV)) est celui de la DGA. Il est présenté ci-après certaines spécificités de la DGA qui structurent ce cas :

- La DGA est une entité intermédiaire étatique entre l'armée qui est le client utilisateur des systèmes et les industriels concepteurs-producteurs et donc fournisseurs de ces systèmes
- La DGA formalise un marché avec des règles d'appel d'offre identiques pour tous les industriels désirant y participer. Pour certains systèmes, il est possible de traiter en exclusivité avec un industriel (cas d'une remise à niveau par exemple) ou pour des raisons de souveraineté.
- Les systèmes de l'armée requièrent par défaut de respecter les normes en vigueur (en mode nominal). Il existe cependant quelques exceptions activables dans des conditions opérationnelles exceptionnelles.
- D'un point de vue Méthodologique, la DGA a mis en place l'instruction ministérielle 1618 qui qui décrit le déroulement des opérations d'armement de l'expression du besoin à la qualification finale par la DGA et à la dotation dans les forces (Ministère des Armées, 2019).

Pour supporter le processus de manière rigoureuse, il est notamment utilisé :

- un animateur des méthodes Analyse fonctionnelle – Analyse de la Valeur
- un architecte qui synthétise les différentes options potentielles de conception pour ajuster les exigences fonctionnelles du futur système (si le contexte technologique est incertain, il est possible de lancer une étude amont pour explorer le champ des possibles et le niveau de maturité de ces solutions technologiques)
- un estimateur de coûts qui permet de faire de l'analyse de la valeur en amont de la publication de l'appel d'offre (et du cahier des charges)

Dans ce contexte, la prise en compte des aspects environnementaux s'effectue grâce au Métier Eco-conception, équipe d'experts impulsée par le ministre de la Défense Alain Richard dans les années 2000. D'une expertise sur *REACH*, les compétences de l'équipe tendent à intégrer les notions de l'écoconception dans le cycle de développement de nouveaux systèmes.

C’est toute la problématique du Projet AVEC que d’intégrer l’environnement dès l’amont de la conception, notamment au travers de la pratique de l’AF et de l’AV. Pour le cas d’application au sein de la DGA, il a été décidé de travailler sur le cas d’un système (non détaillé pour cause de confidentialité).

4.3.1.2 Présentation du système à concevoir

Le système à concevoir a vocation à servir sur l’ensemble des théâtres d’opération, dans toutes les conditions climatiques et sur tout type de terrain. Deux configurations du système sont à l’étude, présentant les mêmes fonctions principales, mais avec des importances différentes. Les huit fonctions majeures de ces deux configurations ont été hiérarchisées.

4.3.1.3 Réunion avec un animateur AF

Pour lancer le cas d’étude DGA, une première réunion a été organisée avec l’animateur Analyse Fonctionnelle (AF) qui a pour rôle de manager la pratique de l’AF au sein d’un projet de conception d’un nouveau système pour aboutir à l’édition d’un Cahier des charges fonctionnel (Cdcf). Les enseignements de cette première réunion sont décrits ci-dessous.

Cette réunion a permis d’approfondir la connaissance de l’équipe projet AVEC sur les pratiques de conception au sein de la DGA. Les premières étapes du processus de conception ont été précisées : Après une phase d’initialisation du projet où un *brief* du besoin militaire est formalisé, une seconde étape consiste à balayer le champ des solutions/stratégies potentielles pour répondre à la mission de manière à orienter vers des premiers choix structuraux du système à concevoir de type « système roulant ». La troisième étape consiste à élaborer les spécifications du système (Cdcf) et le mode de contractualisation (Appel d’offre).

Au sein de cette troisième étape, il existe 3 phases distinctives :

1. Le Cdcf est élaboré, notamment avec les forces (le client), pour traduire le *brief* de besoin militaire en fonctions à satisfaire.
2. L’architecte associé au projet explore les possibilités de solutions et synthétise au travers de 3 solutions les options possibles : la solution 1 correspond à la satisfaction minimale du Cdcf avec des technologies matures, la solution 2 représente des évolutions fonctionnelles et/ou technologiques qui sont visées pour améliorer la satisfaction du client et la troisième montre les technologies émergentes à fort potentiel mais dont la maturité interroge.
3. A partir de ces éléments peut être mené un raisonnement d’Analyse de la Valeur (AV) avec la caractérisation de la satisfaction des fonctions et des couts pour les 3 solutions. Les retours sur la satisfaction des fonctions sont faits par l’armée de par leur expérience, et les coûts sont obtenus via un service « estimation de coûts ». Les 3 solutions sont positionnées sur les axes niveau de satisfaction et de coût et l’architecte peut envisager alors des mix de solutions (voir Figure 4).

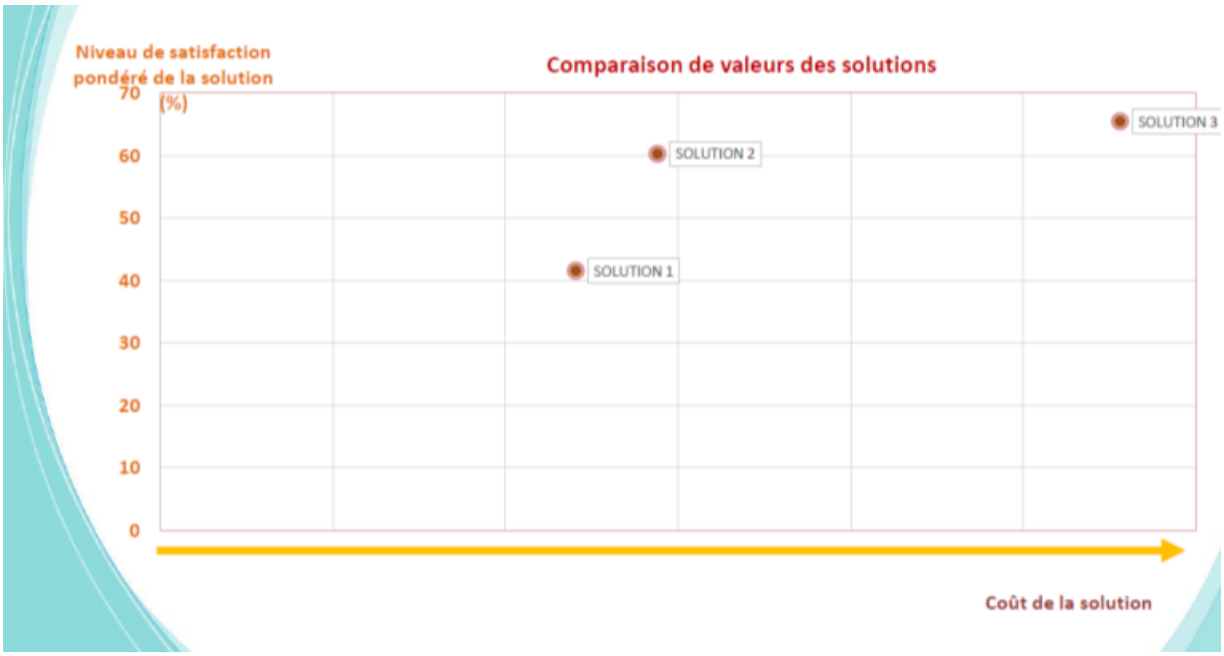


Figure 4. Exemple de graphe utilisé dans une démarche d'Analyse de la Valeur à la DGA

Concernant l'intégration des aspects environnementaux dans le cahier des charges, il a été relevé qu'aujourd'hui elle se matérialise par la Fonction « Préserver l'environnement ». Selon l'animateur, le levier le plus puissant dans le futur pour intégrer l'environnement serait, via un partenariat avec les industriels, un accompagnement en éco-conception et le développement en amont de solutions éco-conçues qui augmentent la valeur et/ou diminue les coûts. Des briques à la fois performantes et plus respectueuses de l'environnement. Le biomimétisme a été évoqué comme support pour éco-innover et proposer de nouvelles solutions.

Les autres pistes discutées concernaient :

- l'ajout d'un paramètre en AV permettant de mieux prendre en compte l'environnement. Cela a déjà été fait en prenant la masse comme deuxième paramètre d'AV, mais uniquement pour un satellite,
- l'ajustement des indicateurs par type de fonction en partant du fait que les grandes fonctions d'un système de défense sont récurrentes. Un SWOT « environnement » pourrait être mené par fonction,
- la réalisation d'un AMDEC « green » pour déterminer les risques potentiels ayant un impact environnemental,
- la labellisation « éco-concepteur » des industriels.

4.3.1.4 Réunion avec un architecte

Pour compléter les connaissances sur le processus de conception au sein de la DGA, une deuxième réunion a été organisée avec un architecte système. Il a été discuté les points suivants :

- Pour intégrer les aspects environnementaux en conception, il est important que ce soit réalisé dès l'amont, lors de la spécification des fonctions en AF, de manière ensuite à avoir une prise.
- Si on arrivait à chiffrer les non-qualités et le surcoût liée à l'utilisation d'une substance interdite qui nécessite de réaliser un dossier REACH, les opérationnels de l'armée pourraient s'intéresser à ces aspects environnementaux.
- Pour vendre l'aspect environnemental aux opérationnels, il semble nécessaire de traduire les considérations environnementales en intérêts opérationnels pour l'armée. Cela pourrait être en introduisant la notion de risques, en faisant une corrélation avec la fiabilité… Les dimensions du risque qui pourraient être prises en compte concerneraient l'utilisateur, les délais du programme, le client, mais aussi le risque financier si les technologies non matures posent problème.

- Une analogie peut être présentée entre la prise en compte des aspects environnementaux et celle de l'ergonomie. Ce sont des fonctions transverses, c'est-à-dire qu'elles peuvent être présentes en tant que critère au sein de plusieurs fonctions.

4.3.1.5 Réunion avec des estimateurs de coût

Une troisième réunion a été organisée avec deux estimateurs de coûts. Le service Estimation des coûts a pour fonction de calculer le coût global de certains projets et d'estimer le coût de chaque composant/module, dans le cadre de l'AV notamment. Les enseignements issus de cette réunion sont les suivants :

- Un coût global comprend les coûts sur tout le cycle de vie (coût d'étude amont, coût d'acquisition, coût de soutien, coût d'exploitation, coût de retrait de service). Le coût doit être estimé de manière précise jusqu'à moyen terme, puis il est indiqué de manière plus estimative à plus long terme.
- Un coût n'est pas indiqué avec une fourchette (+ ou -) car il n'y a pas de modèle statistique associé. Il est présenté sous forme déterministe, paramétrique (évolue en fonction de certains critères) et se fonde avec un certain nombre d'hypothèses associées. Chaque estimateur de coût dispose de ses bases de connaissance spécifiques qui proviennent de capitalisation par type de système et des données du marché. Quand on ne sait pas, un avis d'expert est recueilli et on le spécifie (expert, périmètre). Les coûts qui évoluent, pris en compte via des formules d'actualisation, sont âprement discutés (coût du carburant, de l'euro …).
- Concrètement, on ne sait pas chiffrer des fonctions, donc on va jusqu'à la définition de pré-choix techniques. Il existe un outil logiciel pour déterminer le prix (en se basant sur la quantité de matériaux, le niveau de maturité …). Les coûts estimés sont des coûts « plancher », chaque directeur des programmes rajoutant sa marge.
- Les évolutions majeures (qui changent les performances du système) font l'objet d'une nouvelle opération d'armement. Il est difficile de comparer l'intérêt d'une rénovation qui prolonge la durée de vie, améliore les performances mais qui coûtent, vis-à-vis d'une non-rénovation et d'un renouvellement plus précoce.
- Il a été relevé et surligné lors de cette réunion que les estimateurs de coûts ne prennent que le coût d'acquisition et du « dégrossissage » sur moyen terme (une dizaine d'années). Cela pose problème par exemple dans le cas d'un système hybride où le choix de technologie de la batterie détermine son nombre de renouvellement dans le temps, qui peut être assez différent, et surtout si l'on compare un système hybride avec un système thermique.

4.3.1.6 Réflexions sur intégration de l'environnement en conception

L'ensemble des travaux d'état de l'art, les réunions effectuées avec la DGA et les autres parties prenantes du Projet AVEC (en particulier les réflexions menées avec Christophe Gobin et Olaf de Hemmer Gudme, experts en AV) permettent de définir certaines pistes pour intégrer les aspects environnementaux au sein d'un processus de conception de produit.

De manière générale au sein d'un processus de conception, jusqu'à l'étape d'analyse de la valeur, il peut être distingué 4 temps (voir Figure 5) :

1. l'étape en amont de l'AF,
2. l'étape de l'AF qui débouche sur la formalisation du cahier des charges fonctionnel
3. l'étape de conception de premières solutions
4. l'étape de l'AV qui évalue la satisfaction des besoins par rapport au coût et permet de décider où il est nécessaire d'affiner/revoir la conception.

Figure 5. Pistes d'enrichissement d'une démarche d'Analyse de la Valeur par des considérations environnementales

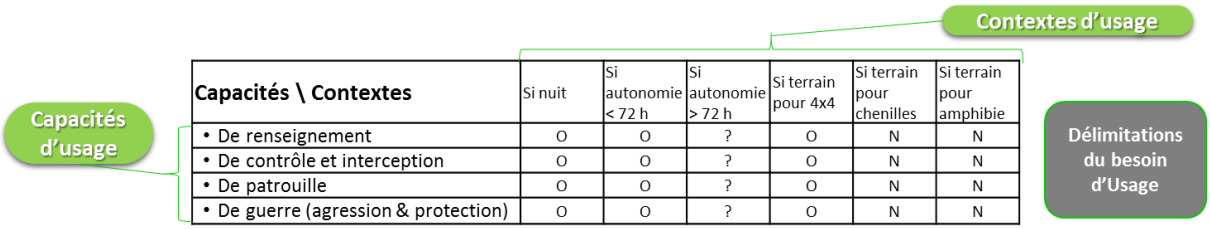
Etape 1

La première étape consiste à définir ce que l'on peut nommer « l'utilité fonctionnelle » du produit. Symbolisée par la bête à corne, elle n'est pas toujours réalisée avec rigueur, surtout en conception routinière. Pourtant, pour réduire les impacts environnementaux, il s'agit d'une étape clé où il est possible d'éviter des gaspillages relatifs à la non-adéquation du produit vis-à-vis du besoin client : en précisant la définition des besoins d'usage (capacités d'usage et contextes d'usage requis) pour satisfaire le client, l'intensité du besoin et la durée de vie du produit.

Concrètement, quel que soit le système à concevoir (conception routinière ou innovation), il est nécessaire de préciser :

- la raison d'être du système en termes de périmètre d'usage, c'est-à-dire de lister et ajuster i) les capacités d'usage attendues (avec des nuances) et ii) les types de contextes dans lesquels ils s'insèrent, ceci en ciblant le ou les destinataires. Le tout doit être positionné par rapport à d'autres systèmes répondant à la même fonction principale. Cette démarche vise la frugalité (recherche de rupture systémique en concurrençant un système plus impactant ou faire un système plus frugal) et peut s'apparenter à une phase de négociation fonctionnelle.
- l'intensité de besoin pour la ou les cibles de client visée(s). Suivant cette intensité, il pourra être envisagé un service de mutualisation de l'objet entre plusieurs utilisateurs ou par exemple une modularité adéquate du système pour élargir son périmètre d'usage.
- la résilience du système et de ses modules principaux en termes d'usure et d'obsolescence, ce qui permet de jauger la durée de premier service et la durée de vie du système. Cela requiert de connaître à minima les contours du système à concevoir (dans le cas d'une démarche d'innovation).

Précisons enfin, qu'en amont ou en parallèle de cette première étape, donc avant de spécifier les fonctions en détail, il peut être précisé le degré de qualité environnementale attendu, c'est-à-dire le niveau d'exigence environnementale revendiqué en interne et en externe par l'entreprise.



Capacités \ Contextes	Si nuit	Si autonomie < 72 h	Si autonomie > 72 h	Si terrain pour 4x4	Si terrain pour chenilles	Si terrain pour amphibie
• De renseignement	O	O	?	O	N	N
• De contrôle et interception	O	O	?	O	N	N
• De patrouille	O	O	?	O	N	N
• De guerre (agression & protection)	O	O	?	O	N	N

Figure 6. Définition des délimitations du besoin d'usage

Etape 2

La deuxième étape consiste à lister les fonctions que devra satisfaire le futur système et qui traduisent les exigences d'utilité fonctionnelle issue de l'étape 1. Pour intégrer dans le Cahier des charges des exigences fonctionnelles permettant in fine de réduire les impacts environnementaux du système, il existe plusieurs axes de travail :

- s'assurer que l'AF balaye l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit (notamment la phase de retrait de service /fin de vie).
- introduire une fonction globale « ENVIRONNEMENT » (ENVT), sorte de « tiroir » pour intégrer des contraintes fonctionnelles traduisant la prise en compte des différentes phases du cycle de vie comme valider la conformité à une norme, respecter un objectif d'impact environnemental sur un ou plusieurs indicateurs ACV, respecter des sous-fonctions sur différentes situation de vie. Il est important de noter ici qu'il existe deux manières de présenter les exigences attendues : soit il peut être requis de ne pas dépasser un impact environnemental (un simple score agrégé ou un ensemble d'objectifs sur différents indicateurs) par le produit dans sa globalité –c'est l'orientation Résultat ; soit il peut être spécifié un ensemble de contraintes fonctionnelles permettant de s'assurer de la prise en compte d'un ensemble de points d'attention dans la conception (sur chaque phase du cycle de vie)– c'est l'orientation Process.

- introduire les considérations environnementales au sein de chaque fonction via l'ajout d'une sous-fonction ENVT, via l'ajout d'un nouveau critère ENVT, via l'ajustement du niveau requis d'un critère existant pour des raisons ENVT. L'ajout de ces exigences environnementales aux fonctions provient notamment de l'anticipation des conséquences d'un mauvais dimensionnement, d'un mauvais choix et de mauvais usages (non-nominaux), de la considération de différentes substances, ressources, nuisances, règles normatives, sur tout le cycle de vie (entretien, fin de vie), et de toutes les parties prenantes (voir Figure 7).

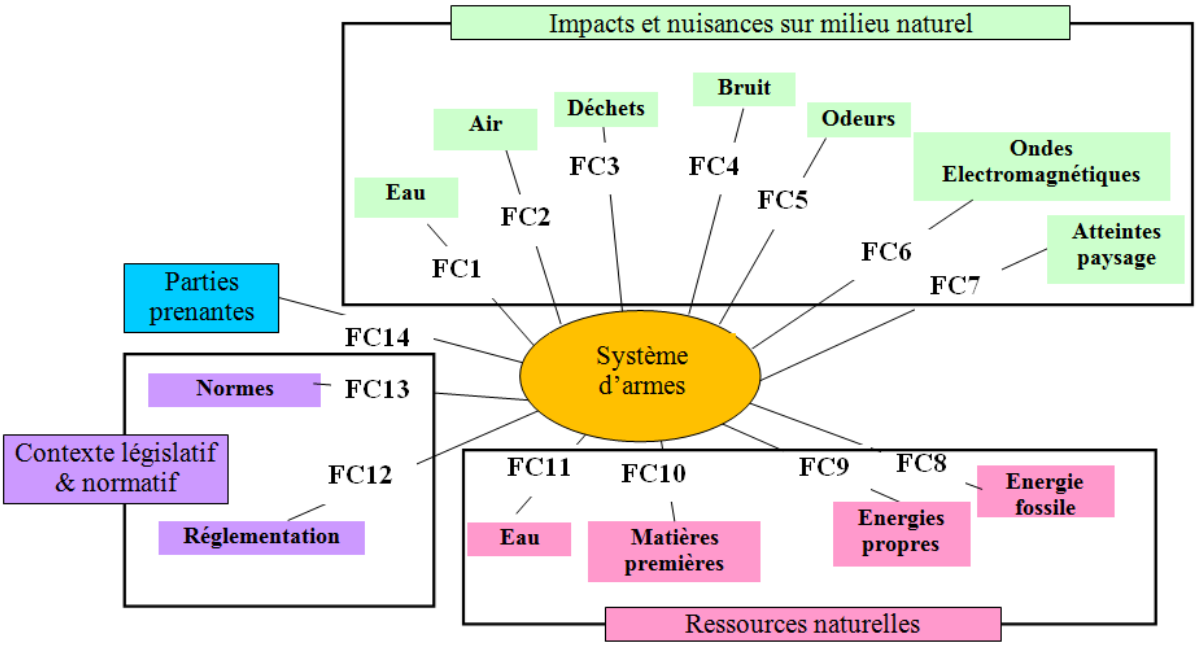


Figure 7. Panorama des fonctions contraintes inhérentes à la prise en compte des aspects environnementaux (d'après un document interne de travail fourni par M. Janin)

Etape 3

La troisième étape correspond à l'élaboration de premières solutions, aux premiers choix de conception tant au niveau des principes technologiques, d'architecture, de composants ou de matériaux, répondant au cahier des charges issu de l'étape 2. Contribuer à l'obtention d'un produit peu impactant s'obtient ici par des apprentissages réalisés en amont de ce processus, que ce soit au niveau des concepteurs que des briques technologiques/d'ingénierie :

- Un premier axe est de travailler sur les pratiques méthodologiques, la formation et la sensibilisation des concepteurs à l'environnement pour qu'ils s'imprègnent du réflexe d'imaginer par défaut des solutions peu impactantes.
- Un deuxième axe est de développer une bibliothèque de solutions « très favorables pour l'environnement » sur étagères : cela sous-tend de lister les problématiques récurrentes et à fort enjeu du point de vue des impacts environnementaux, et d'y associer ou de travailler à l'élaboration d'architectures, de modules - composants - technos - principes amenant un faible impact environnemental. Comme pour toute technologie non mature, des pré-études pourraient être menées de manière à rendre robustes et donc actionnables certains choix.

Etape 4

La quatrième étape consiste à évaluer le niveau de satisfaction des besoins (formalisés par les fonctions) et les coûts. L'objectif est de rationnaliser la conception, c'est-à-dire d'ajuster les solutions pour satisfaire au mieux les fonctions à moindre coût. Dans cette démarche d'optimisation, la prise en compte des aspects environnementaux peut prendre différentes formes :

- S'assurer que la pondération de la fonction globale « ENVT » soit suffisamment cotée pour influer sur les choix de conception.

- Intégrer dans les coûts les considérations environnementales. Ce peut être en s'assurant que le mode de calcul des coûts intègre les différentes phases du cycle de vie (coût complet intégrant accès, usage, entretien et EOL) et ne soit pas juste le coût d'obtention (qui ne permet pas de valoriser une conception pérenne/durable), ou en mettant en place la monétarisation/monétisation des impacts.
- Intégrer un 2ème critère de rationalisation de la conception dans l'AV qui rendrait compte des aspects environnementaux, plus ou moins partiellement et directement. S'il est considéré un score ACV agrégé ou sur un indicateur particulier, les aspects environnementaux sont directement pris en compte. S'il est considéré le critère du poids (dans le cas d'un objet mobile par exemple), cela contribue à limiter la quantité de matériaux extraite et à l'efficience énergétique du système ; les aspects environnementaux sont alors pris en compte de manière indirecte. Dans une entreprise ne se revendiquant pas comme pro-active du point de vue de l'environnement, cela semble *a priori* une bonne stratégie pour malgré tout respecter au mieux les aspects environnementaux.

Dans le cas de la DGA, ce processus de conception doit être adapté car la DGA formalise le Cahier des charges mais ne conçoit pas, ni ne produit les systèmes y répondant. On est dans le cadre d'un donneur d'ordre qui dans le cadre d'un marché public lance un appel à contribution auquel un ou plusieurs industriels (concepteurs et producteurs) répondent. Dans certains cas très spécifiques et régis à des règles strictes, il peut y avoir un partenariat exclusif, de gré à gré, entre la DGA et un industriel, mais cela ne change pas le rôle de la DGA, donneur d'ordre, spécificateur, mais non concepteur. Pour autant, c'est une caractéristique qu'on retrouve de manière fortuite chez tous les partenaires interrogés dans le cadre de ce projet (Orange spécifie ses Liveboxes mais ne les conçoit pas ; RTE spécifique le matériel électrique mais le conçoit pas ; un maître d'ouvrage en bâtiment spécifie le bâtiment mais ne le conçoit pas ; le Groupe PSA dans le cas des batteries électriques les spécifie mais ne les conçoit pas).

Les spécificités d'un donneur d'ordre est qu'il n'est pas le concepteur mais qu'il a intérêt à avoir une connaissance de ce qu'il est possible d'exiger en termes de spécifications fonctionnelles, en particulier lorsqu'il y a un marché public. En effet, au-delà d'accepter une solution non optimale par méconnaissance, si aucune proposition ne satisfait un marché public, il est nécessaire de rééditer un nouveau marché avec de nouveaux critères « accessibles », ce qui pèse lourdement sur les délais. Ainsi, dans le processus de conception (illustré en Figure 8) apparaît potentiellement une phase de pré-étude pour faire une veille de ce qui existe ou tester la maturité d'une technologie, une phase appelée « Pré-AV » où il est question d'analyse de valeur à partir de projections/prévisions de modules technologiques et une phase à proprement dite de rédaction de l'appel d'offre dans laquelle il est possible de préciser le type de solution attendue en modulant l'attribution de points.

Dans le cas de la DGA (Figure 9), l'identité du système est définie par l'armée qui, forte de son expérience passée, balaye les différents scénarios d'usage, ses besoins, la forme des futurs conflits… Face à son exigence d'avoir un système le plus performant possible, il est peu/pas envisageable de négocier la prise en compte d'aspects environnementaux à cette étape. Les étapes en aval de l'appel d'offre ne sont pas considérées comme permettant d'impulser une dynamique de prise en compte de l'environnement mais davantage pour entériner, s'assurer que les solutions développées répondent au Cahier des charges avec des objectifs environnementaux.

Les efforts pour intégrer les aspects environnementaux dans un raisonnement AF-AV portent donc sur les 4 étapes entourées en orange comme illustré en Figure 9, en aval de la définition de l'identité de l'objet et en amont de l'édition de l'appel d'offre.

Dans ces 4 étapes, ce qui est notamment recherché est la manière d'intégrer à l'AF et l'AV les aspects environnementaux. Pour ce faire, des ateliers ont été imaginés, pour comprendre par exemple s'il est plus judicieux d'avoir une fonction dédiée à l'environnement ou s'il est préférable d'insérer des critères environnementaux au sein de chaque fonction. Un autre axe est la prise en compte des risques d'un système « non optimisé » à la fois dans le cadre de ses usages nominaux et non nominaux.

Figure 8. : Liste des pistes potentielles pour intégrer les aspects environnementaux dans le processus de spécification et de conception

Figure 9. : Liste des pistes potentielles pour intégrer les aspects environnementaux dans le processus de spécification et de conception adaptée au cas industriel de la DGA

4.3.2 Ateliers méthodologiques en enseignements

4.3.2.1 Micro-ateliers-brainstorming DGA du 3 Avril 2019

Une série de micro-ateliers a été imaginée et effectuée au sein de la DGA, avec 2 groupes de deux personnes. Il s'agissait d'étudier la question de la spécification des aspects environnementaux dans un Cahier des Charges : faut-il une fonction globale « minimiser les impacts environnementaux » ou est-il préférable d'insérer des critères environnementaux au sein de chaque fonction ? Voire est-ce que les 2 méthodes se complètent et sont nécessaires ?

Le premier atelier avait pour but de décrire les fonctions correspondant à la situation de vie « Phase de retrait de service » en partant du diagramme pieuvre (interacteurs, fonctions principales, fonctions contraintes et critère fonctionnels). Les résultats des 2 groupes (CR en Annexe 2) sont les suivants.

Groupe 1 :
F1 : Être valorisable (pour améliorer couts de stockage et traitement en fin de vie, image, règlementation, Environnement, santé opérateur …)

- F1.1 être démontable (tps de séparation / tps de démontage)
- F1.2 être homogène (matériaux)

F1.3 être dépolluable (traçabilité REACH)

Groupe 2 :
Mettre à disposition les informations nécessaires au Retrait de service (cartographie des substances dangereuses, manuel de fin de vie …) > Critères ?
Etre valorisable

- Être démontable (pour réutilisation de pièces)
- Être partiellement réutilisable (Pièces détachées)
- Être séparable pour valorisation fin de vie
- Être recyclable

Les résultats sont assez proches. Ils apposent la contrainte de valorisation à l'ensemble du système à concevoir. Ce travail effectué uniquement sur la situation de vie « Retrait de service » pourrait être élargi à d'autres situations de vie.

Le deuxième atelier avait lui pour but d'insérer des critères de performance environnementale sur les 6 fonctions majeures du système roulant étudié qu'il soit en dans l'une ou l'autre des configurations (Se déplacer ; Communiquer ; Être maintenu ; et 3 autres fonctions principales qui ne seront pas détaillées ici). Les résultats des 2 groupes sont présentés en Tableau 4 et Tableau 5.

Fonction 1	(Lg Life)
Fonction 2	(Lg Life)
Communiquer	(Lg Life)
Se déplacer	• Avoir un mode éco-conduite en usage routier, en liaison • Avoir une efficience énergétique (rapport poids puissance) • Technologie peu polluante (EURO 6 au lieu de EURO 3)
Etre maintenu	• Démontabilité aisée • Garder Niveau de performance dans le temps • Gérer obsolescence • Traçabilité
Fonction 6	Efficace (Lg Life)

Tableau 4. Résultats du groupe 1

Dans le Groupe 1, des sous-fonctions ont été ajoutées pour intégrer les aspects environnementaux dans les fonctions « Se déplacer » et « Être maintenu ». Sur les autres fonctions, il a été souligné la nécessité de viser une certaine efficacité pour maximiser les chances d'avoir une longue vie (Long Life « Lg Life ») du système pour sauvegarder la durée de vie.
Les critères fonctionnels semblent s'obtenir en imaginant les risques d'impacts environnementaux sur chaque fonction lorsque l'on considère les phases du cycle de vie :

- Fonction contrainte Fabrication (Matières extraites, substances, poids …)
- Fonction contrainte Usage (énergie, GES …)
- Fonction contrainte Fin de vie (matériaux)

Fonction 1	? (bruit ?)
Fonction 2	?
Communiquer	? Conso et veille ?
Se déplacer	• Conso : élongation distance franchissable ; capacité à durer /autonomie d'énergie ; • Emissions : capacité à limiter les émissions hors opération (déplacement de transition) • Bruit : dans « être accepté par la population » ou dans « être discret »
Être maintenu	• Accessibilité à des pièces fragiles • Réparabilité sans outils spécifiques • Santé/sécurité pour l'opérateur : choix des fluides, des matériaux
Fonction 6	

Tableau 5. Résultats du groupe 2

Des Critères génériques ont été identifiés : masse, substances, conso…

Les résultats des 2 groupes convergent sur le fait que « Se déplacer » et « Être maintenu » sont les 2 fonctions où il est aisé d'intégrer les aspects environnementaux dans les fonctions. Ensuite, il est relevé que les critères fonctionnels sont « génériques » et concernent l'ensemble du système (masse du système, choix de matériaux contenant peu de substances chimiques, faculté à être démonté …).

L'atelier 3 consistait à comparer les 2 pratiques des Ateliers 1 et 2. Il apparait que les fonctions ou sous-fonctions dédiées à la prise en compte des aspects environnementaux sont des fonctions contraintes qui s'appliquent au système global, et non (ou rarement) à des fonctions ou éléments spécifiques. Ces fonctions contraintes concernent l'efficience de la conception et de la production mais proviennent aussi des phases du cycle de vie en dehors du périmètre des opérationnels (en dehors des fonctions verbalisées par les militaires) : celles concernant l'usage en dehors des opérations, et le retrait de service notamment.

S'il existe une certaine difficulté à énoncer des sous-fonctions ou des critères de fonction pour intégrer les aspects environnementaux dans les fonctions existantes (mise à part pour les fonctions « se déplacer » et « être maintenu »), plutôt qu'à nourrir la macro-fonction « préserver l'environnement », il peut être observé que les résultats des spécifications entre les 2 pratiques sont assez proches.

4.3.2.2 Ateliers méthodologiques des 26 Avril et 28 Mai

Une seconde série d'ateliers a été construite et proposée à un groupe de travail élargi (s'appuyant notamment sur l'expertise de Christophe Gobin et Olaf de Hemmer Gudme, experts en AV) en regardant le processus de conception par le prisme des risques d'impacts environnementaux. En effet, comme cela a été vu dans l'étude bibliographique, prévenir les impacts environnementaux en les regardant comme des risques potentiels est une manière de faire de l'écoconception dès les phases amont de conception, sans attendre l'analyse de cycle de vie qui intervient tout en aval. Ainsi, c'est tout le processus qui peut être reconsidéré de la manière suivante :

- Le premier risque d'impact environnemental est une mauvaise définition de « l'utilité fonctionnelle », c'est-à-dire les gaspillages relatifs à la non-adéquation du produit vis-à-vis du besoin client. Pour les éviter, il est suggéré de préciser la définition des besoins d'usage (capacités d'usage et contextes d'usage requis) pour satisfaire le client, l'intensité du besoin et la durée de vie du produit. Précisons que l'utilité fonctionnelle se distingue de l'unité fonctionnelle dans ce sens où il est recherché la maximisation de la valeur dans le temps du système en usage (système circonscrit à des fins de conception). L'unité fonctionnelle manipule les mêmes notions, mais avec la visée de comparer au mieux 2 systèmes, en adaptant le système considéré si besoin, dans le but d'évaluer / choisir le système le plus vertueux du point de vue environnemental (pas de finalité de conception à première vue). Face à ce premier risque, il est proposé 3 micro-outils permettant de préciser la définition des

besoins d'usage et de positionner le système en termes d'intensité du besoin et de durée de vie.

- Le deuxième risque d'impact environnemental est la mauvaise intégration des aspects environnementaux au sein du Cahier des charges fonctionnel d'abord de par un listing incomplet des risques d'impacts environnementaux relatifs aux différentes situations de vie, utilisateurs ou encore phases du cycle de vie, et/ou une non-maîtrise des tenants et aboutissants de la performance environnementale, notamment des couplages entre modules/composants qui peuvent amener des surdimensionnements en cascade. Ensuite, la mauvaise intégration peut provenir d'une mauvaise retranscription formelle des aspects environnementaux dans le Cahier des charges : le risque d'impact environnemental, lorsqu'il est identifié, est-il spécifié sous la bannière d'une macro-fonction ENVT ou comme sous-fonction / critère d'une fonction existante ? Face à ce risque, une Matrice MET permet de lister les risques d'impacts environnementaux et un tableau permet de recueillir de la part de chaque participant leur avis sur le formalisme à utiliser pour retranscrire dans le cahier des charges les exigences fonctionnelles relatives à l'environnement.
- Le troisième risque d'impact environnemental est de ne pas prendre en compte les aspects environnementaux lors d'une Analyse de la Valeur et de ne rationaliser la conception que sur des critères d'attractivité et de coût. Face à ce risque, il est proposé d'intégrer les aspects environnementaux en élargissant la définition de l'indicateur de coût au-delà du coût d'acquisition et/ou d'ajouter un indicateur dit « environnemental », c'est-à-dire représentatif plus ou moins directement des enjeux environnementaux (ce peut être un score ACV, agrégé ou portant sur un indicateur précis ou un critère comme la masse amenant des gains de consommation matière et d'énergie …).
- Le quatrième risque d'impact environnemental est de ne pas considérer les usages non nominaux, les dérives d'usage ou les problèmes de défaillance potentielle qui mettent à mal tous les efforts de d'écoconception préalables. Face à ce risque se pose la question d'intégration de démarche type AMDEC au sein d'un cahier des charges, et plus largement de l'intégration dans le cahier des charges de contraintes qui en même temps qu'elles déminent certains risques réduisent le champ des solutions possibles.

Sur ce dernier point, en amont de ces ateliers, a été présentée la logique de conception « en cône ». Notamment dans le cadre spécifique d'un donneur d'ordre, qui n'est pas concepteur mais qui a intérêt à avoir une connaissance de ce qu'il est possible d'exiger en termes de spécifications fonctionnelles (en particulier lorsqu'il y a un marché public), il est revendiqué une phase d'allers-retours entre la définition du besoin et l'exploration de voies de solutions potentielles. Cette séquence de pré-études des technologies possibles, des problématiques récurrentes sur les systèmes à concevoir, des risques (d'impacts environnementaux et autres) à considérer… sert à « monter en connaissances » sur le système à concevoir et à élaborer un cahier des charges « enrichi » qui peut même s'avérer « orienté ». La phase à proprement dite de rédaction de l'appel d'offre dans laquelle il est possible de préciser le type de solution attendue en modulant l'attribution de points assoit cette logique.

En ce qui concerne les ateliers, a été retenu le cas d'application d'un aspirateur balai sans fil, sans filtre, éco-conçu pour le compte de l'entreprise « fictive » Crossroad Green Quality (Figure 10).

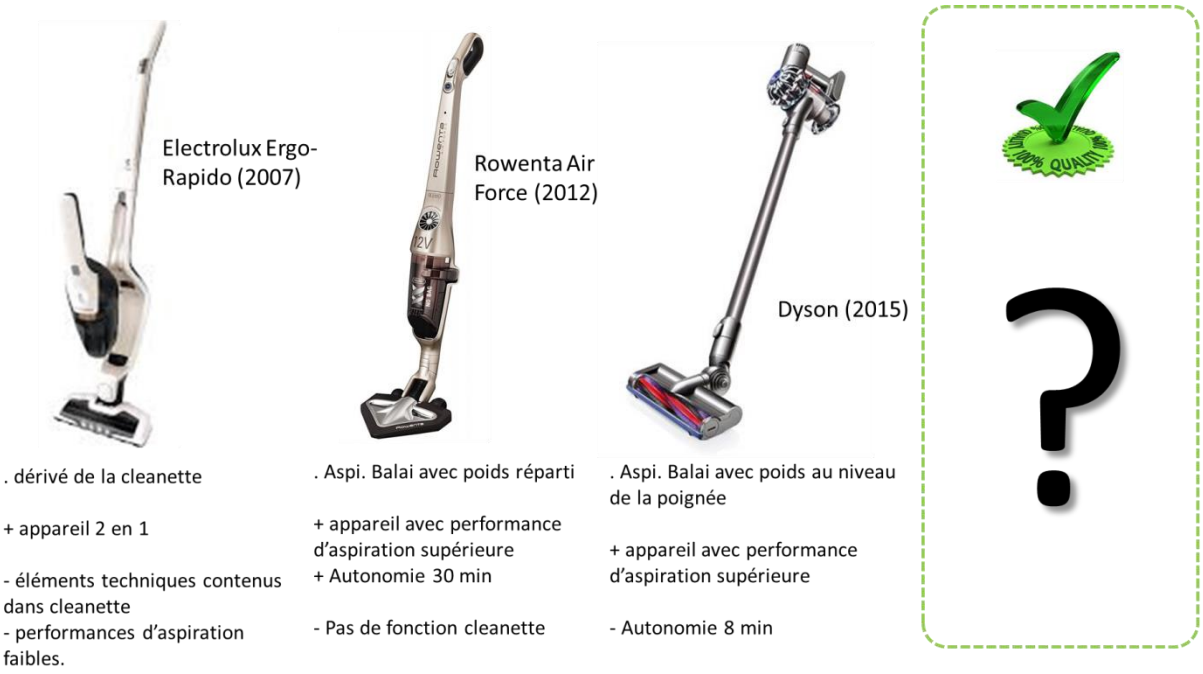


Figure 10. : Présentation de l'évolution des aspirateurs balai et de la problématique des ateliers

Ces ateliers se sont déroulés sur 2 après-midi. Les discussions ont été riches en enseignements que ce soit pour le Projet AVEC que pour le cas de la DGA. Les traits saillants ressortis sont les suivants :

Sur le cône de conception :
Même si le principe de la spécification est de se donner des exigences sans savoir ce qui va être conçu, dans le contexte d'un donneur d'ordre vis-à-vis d'un maître d'œuvre, il peut sembler judicieux de préciser certaines fonctions quitte à figer un peu le panorama des options de conception possibles (le terme recyclage sous-tend par exemple une solution « avec de la matière »). En fait travailler sur les principes de conception et différentes options possibles permet au donneur d'ordre d'augmenter son niveau de connaissance sur les spécificités qui à la fois définissent et contraignent les possibilités de son système. Cela permet en outre de s'assurer que le cahier des charges est réalisable (ce que M. Gobin nomme la « conformation »), mais aussi d'envisager des simulations environnementales plus précises et de spécifier davantage sur la prise en compte des aspects environnementaux. Ces itérations entre définition du besoin et exploration de possibilités de solutions/principes de conception rejoignent le principe d'une approche agile (courtes et rapides itérations pour progresser).

Sur la manière de spécifier les contraintes environnementales au sein du Cdcf :
Pour ne pas oublier d'impacts environnementaux, il est conseillé de tracer tous les flux entrant dans le système et ceux qui en sortent. En face de chaque impact, il est listé un ensemble de fonctions pouvant y contribuer. Pour prendre en compte la qualité environnementale et sociale au sein d'une fonction, chacune d'elle pourrait être décrite avec une performance nominale, des contraintes environnementales, des conditions de maintien de la performance nominale dans le temps, des considérations sociales, et éventuellement une nécessité de réhabilitation à une certaine échéance. Dans certains cas, il peut être judicieux d'ajouter une fonction dédiée « Préserver l'environnement », notamment lorsque la prise en compte d'un impact environnemental revient dans toutes les fonctions, ou inversement quand il échappe à toutes les fonctions.

Sur la forme comment doivent être spécifiés les critères environnementaux :
Même si l'ACV est un outil de mesure des impacts environnementaux, et pas un outil de spécification à proprement dit, réaliser une ACV hypothétique (prenant en compte les impacts depuis ça n'existe pas jusqu'à ça n'existe plus) permet de spécifier des exigences environnementales d'un système, au-delà du simple respect de normes. La seule variable est la qualité/fiabilité des données que l'on utilise : soit on dispose des données précises à la suite d'un processus de conception ou par analogie avec un système existant très proche, soit on utilise des données par défaut, approximées. Il a été remarqué que viser un score d'ACV agrégé n'était pas très judicieux dans le sens où les données nécessaires pour ce faire permettent de travailler directement en multicritères. Travailler en

multicritère permet de mettre en avant certains critères et de mieux optimiser la conception pour chacun d'eux.

Lors de l'exercice visant à intégrer des indicateurs environnementaux en AV, il a été relevé cette difficulté de devoir faire des caractérisations d'alternatives de solution sur leur performance environnementale sans avoir suffisamment de données. En effet, s'il est possible de spécifier des objectifs d'impacts environnementaux à ne pas dépasser en se basant sur des données de produits existants, et de réaliser une ACV une fois la conception terminée, il se pose la question des orientations que l'on peut donner en cours de conception, lors d'une Pré-AV par exemple. Dans le cas de la DGA par exemple, on dispose de plusieurs options de technologies à ce stade, mais le choix ou le dimensionnement des composants n'est pas encore défini. Ainsi, le coût est estimé à l'expérience, grâce à un métier dédié : les estimateurs de coûts. En termes de ressources disponibles au sein du Métier écoconception, il semble peu envisageable de mettre en place de la même manière un service d'estimateurs d'impacts environnementaux. D'autant plus que cette compétence requiert une base de données qui s'appuierait sur tout un historique d'étude de type ACV, sur de précédents projets, base qui n'existe pas.

S'il n'est pas possible de discriminer une solution par rapport à une autre avec une caractérisation « grossière », il est possible malgré tout d'avancer, en travaillant à un niveau micro avec des informations incertaines/ des hypothèses, procédé pour inciter les gens à aller chercher les informations nécessaires. Une autre stratégie est de positionner les solutions les unes par rapport à aux autres d'un point de vue environnemental en mettant en se centrant sur les « *hotspots* » : il s'agit de raisonner en comparatif (bonus-malus) et en qualitatif, en identifiant les points qui dégradent une performance environnementale, et de les mettre au tamis de différentes architectures, dans le contexte de scénarios d'usage bien définis (différents profils qui intègrent des pourcentages de scénarios d'usage). Identifier les composants les plus impactants et ceux qui le sont moins requiert de réaliser ex-ante une étude environnementale sur une solution existante, et de vérifier sur les solutions finales pour arbitrer.

Si les résultats d'ACV sur un système roulant par exemple dans le cas DGA, apportent des compréhensions assez fines de l'origine des impacts, cela requiert un travail conséquent. Au problème de ressources/moyens pour ce faire, s'ajoute la problématique de l'acceptabilité des critères environnementaux par les opérationnels. Il semble que pour l'AF, il soit possible d'imaginer un guide assez autonome, porté par l'animateur méthode AF-AV, du moment que l'on trouve les bonnes personnes à mettre dans les décisions pour rendre l'environnement explicite, celles à qui les indicateurs parlent. Or l'intégration dans le Cahier des Charges de fonctions ou critères environnementaux constitue déjà un point d'ancrage pour orienter par la suite certains choix de conception. En ce qui concerne la Pré-AV, la prise en compte des aspects environnementaux est non automatisable dans l'immédiat. En d'autres termes se pose la question du ou des indicateurs environnementaux à mobiliser pour ne pas plonger dans les détails de l'ACV et celle de leur mise en œuvre : faut-il « simplement » souligner les indicateurs de masse ou de consommation (pour qu'ils soient pris en compte soit avec une importance majorée de la fonction à satisfaire « déplacement du système roulant », soit en tant que critère dédié à co-optimiser avec les coûts) ; faut-il un score unique attaché à une justification (comme c'est le cas pour les estimations de coût) ou un indicateur unique composite construit sur mesure (méthode Delphi ?) ; ou faut-il juste notifier une alerte dans un esprit « analyse de risque », formulée à partir des avis d'experts ? En fonction de la disponibilité, l'origine et la qualité des données, le choix pourrait être différent.
Raisonner en coût complet plutôt qu'en coût d'acquisition permet de considérer l'ensemble des phases du cycle de vie du produit et donc de contribuer à une meilleure qualité environnementale du système, au même titre que faire l'Analyse fonctionnelle sur l'ensemble du cycle de vie fait ressortir explicitement certaines fonctions liées aux phases de maintenance ou de retraitement par exemple.
Cependant, il a été noté que dans certains cas (comme le bâtiment), les hypothèses relatives au coût d'actualisation pouvaient faire varier les résultats.

<u>Sur les Risques d'impacts environnementaux :</u>
La recherche systématique des aléas, et chercher à les prendre en compte dans les spécifications permet de rendre plus « robuste » le Cahier des Charges et le futur système conçu. Il existe 2 types de risques à considérer, ceux liés à un usage non nominal, qui viennent de l'extérieur du produit, et ceux liés à une défaillance interne (telle une brosse coincée sur un aspirateur). Pour remédier à ces risques, il convient de travailler sur respectivement la robustesse du système dans certaines

conditions non nominales et le Maintien en condition opérationnelle. Dans cette optique, l'AMDEC sert à analyser les défaillances potentielles des composants associés à une solution (il est mobilisé au même niveau/moment que l'AV). Repérer les comportements/usages anormaux et vérifier que la solution envisagée est suffisamment robuste permet de compléter cette approche (dans le cas de la DGA, les opérationnels pourraient générer des scénarios anormaux). Le fait d'avoir intégré des critères/fonctions environnementaux dans le Cahier des charges permet de considérer à part entière les risques d'impacts environnementaux.
Plus généralement, le moyen d'intégrer les aspects environnementaux dans les spécifications est de trouver la formulation de langage qui sert les intérêts des opérationnels : l'éco-conduite est un moyen d'abaisser les coûts et d'augmenter l'autonomie du véhicule dans une phase d'usage non critique, maximiser la fonction maintenance peut s'exprimer par le taux de disponibilité par exemple
.

4.3.2.3 Le raisonnement ValeurS

Olaf de Hemmer a présenté un outil sous Excel reprenant les concepts clés du raisonnement valeur tel qu'il le pratique professionnellement. Cet outil liste l'ensemble des étapes du cycle de vie, pour chacune d'elle l'ensemble des parties prenantes en lien avec le système à concevoir, et pour chacune d'elle les besoins exprimés tel que cités et sous forme de fonction à satisfaire (verbe d'action + élément de l'environnement direct ; critère, niveau, flexibilité …). Ces fonctions englobent les contraintes environnementales et sociétales. Le fait de garder les phases du cycle de vie séparées permet de faciliter le repérage des vrais critères.

Puis dans le même tableau, il fait intervenir les notions de l'AV, c'est-à-dire les composants associés aux fonctions, leurs coûts, les insatisfactions potentielles à surveiller, les impacts environnementaux et sociétaux, puis des solutions alternatives de conception balayant un certain nombre de principe générique (économie circulaire, cyclone Dyson pour l'aspirateur …). Ensuite, il est estimé pour les modules et composants retenus les critères « Attractivité, faisabilité, viabilité ».
Cette base d'éléments permet de générer des concepts, que l'on va ensuite positionner vis-à-vis d'autres cas qui peuvent aller du plus simple/basique (exemple : balai classique pour aspirateur) pour réfléchir au juste-nécessaire à des produits élaborés de la concurrence. Les critères de sélection de ces concepts sont l'attractivité, la faisabilité et la viabilité qui à ce stade est relatif au coût complet de possession. De cette réflexion faite d'ajustements et bouclages émergera une spécification fonctionnelle dure, une spécification technique, et des propositions d'alternative. C'est le « raisonnement ValeurS » (De Hemmer Gudme & Poissonier, 2017).

4.3.3 Recommandations méthodologiques

4.3.3.1 Critères et stratégie de choix des éléments méthodologiques

Dans le Cas DGA sur le système roulant, en plus de la problématique générale du Projet AVEC qui consiste à intégrer les aspects environnementaux dans la pratique de l'AF et de l'AV, s'ajoutent une problématique de ressources restreintes du métier écoconception vis-à-vis du nombre de projets à superviser, et une autre sur la réticence des opérationnels à considérer l'environnement.

La première problématique est donc : Comment prendre en compte les aspects environnementaux en conception (en partant de l'hypothèse d'une pratique de l'AF et de l'AV) ? Plus précisément, quelles sont les possibilités « techniques » d'intégrer les aspects environnementaux dans les méthodes de l'AF et AV ? Parmi ces options, quelles possibilités pourraient s'insérer dans le processus spécifique de la DGA ? L'ensemble des travaux présentés dans les sections précédentes ont permis de lister différentes possibilités d'un point de vue méthodologique, et les différents ateliers menés ont permis d'entériner dans la majeure partie ces pistes en même temps qu'ils ont fait émerger des interrogations sur leur mise en œuvre dans le processus de conception. Ces interrogations portent essentiellement sur l'applicabilité, le côté « actionnable », de ces propositions dans le contexte spécifique DGA.

La deuxième problématique s'interroge sur comment stratégiquement amener à systématiquement prendre en compte les aspects environnementaux en conception de systèmes à la DGA ? Plus précisément, quelles sont les parties prenantes à impliquer ? Qui sont les relais, les alliés, pour intégrer les contraintes environnementales dans le Cahier des charges ? Quels sont les sujets/points de convergence de spécifications entre la prise en compte des enjeux environnementaux et les exigences opérationnelles de l'armée ? Quelles sont les notions qui permettraient d'élargir le spectre

des considérations et offriraient in fine des opportunités à une meilleure prise en compte de l'environnement ? Impliquer toutes les parties prenantes permet d'élargir le spectre des spécifications qui enrichissent le cahier des charges et en même temps de modifier (un peu) l'équilibre des forces dans la prise de décision. Dans le cas DGA, interroger les services support à la logistique, à la maintenance, à la remise à niveau ou à la phase de retrait de service, et même des utilisateurs ou encore des industriels concepteurs-fournisseurs permettraient de renseigner les scénarios de Situation de vie aujourd'hui très centrés sur les missions de l'armée en opération, de balayer les différentes situations de vie correspondant à l'ensemble des phases du cycle de vie et *in fine* d'ajouter des spécifications prenant en compte les aspects environnementaux notamment. Ensuite, il semble judicieux de verbaliser sous la forme d'un objectif partagé par l'armée un risque d'impact environnemental, de parler de taux de disponibilité plutôt que d'impact d'une mauvaise maintenance par exemple. Un tableau d'équivalence de tendance entre augmentation d'impact environnemental et augmentation d'un autre critère corrélé mais parlant davantage aux opérationnels de l'armée pourrait être développé. Enfin, les différents ateliers et réflexions montrent que considérer les risques de non-robustesse ou le maintien en condition opérationnelle est un bon moyen pour intégrer de nouvelles considérations environnementales dans le cahier des charges. L'ensemble de ces démarches nécessitent cependant davantage de ressources et ont tendance à complexifier la conception.

Critères de caractérisation retenus : nombre de parties prenantes impliquées autre que l'Armée ; degré de convergence avec les intérêts de l'armée des spécifications environnementales

La troisième problématique s'interroge sur comment stratégiquement amener différents acteurs à contribuer à la prise en compte des aspects environnementaux en conception à la DGA, palliant ainsi les ressources humaines limitées du Métier Ecoconception ? Plus précisément, sous quel angle/quelle forme intégrer les aspects environnementaux dans l'AF et l'AV de manière efficiente ? Quelles ressources cela nécessite ? Quels sont les contributeurs potentiels pouvant agir en dehors des experts métier de l'écoconception ? Si les contributeurs potentiels sont assez aisés à lister (l'animateur méthodes, l'architecte, l'estimateur de coût, le fournisseur industriel, en plus du métier écoconception), la profondeur des considérations environnementales et leur niveau d'intégration aux outils méthodologiques existants sont deux sujets plus ouverts. En d'autres termes, la profondeur des considérations environnementales peut se traduire par s'assurer du balayage des différentes phases du cycle de vie dans les spécifications, ou par la synthèse de nombreuses ACV sous la forme d'une connaissance proche de celle des estimateurs de coût, et pourrait aller même jusqu'à l'obtention (via de la veille sur les développements en cours voire de développements à proprement dits) de modules/technologies favorables à l'environnement sur étagères. Le niveau d'intégration aux outils méthodologiques existants signifie le degré de présence nécessaire du métier écoconception dans les différentes phases de conception. Cela ne préjuge pas de la quantité de travail à mener en amont pour aboutir à cette intégration. Ceci peut d'ailleurs constituer un autre critère. La formalisation de fonctions « génériques » par exemple est un moyen de s'assurer de la prise en compte de certains paramètres dans le processus de conception, mais requiert tout un travail d'analyse, de synthèse et de validation en amont (cf. les 7 fonctions d'usage « génériques » d'un bâtiment proposées par Christophe Gobin et utilisées dans le projet DECADIESE (Cluzel et al., 2017)).

Critères de caractérisation retenus : profondeur des considérations environnementales ; capacité de la tâche à être déléguée ; quantité de travail à mener en amont pour aboutir à un processus intégré

4.3.3.2 Recommandations méthodologiques

A partir des pistes identifiées au cours du projet pour intégrer les aspects environnementaux au sein des premières phases de conception (intégrant la pratique de l'AF et l'AV) et des critères d'applicabilité dans le processus de conception actuel de la DGA formalisés ci-avant, il peut être proposé le tableau de synthèse ci-après. Au total, 13 pistes d'action ont été listées et caractérisées (Figure 11) de la manière suivante :

- Numéro de la piste d'action
- Périmètre où la piste d'action intervient
- Intitulé de la piste d'action (avec variantes éventuelles)
- Critère du Nombre de Parties prenantes concernées par cette piste d'action autre que l'armée (de 0 à 5) _NPP

- Critère du Degré de convergence des Spécifications environnementales avec les intérêts de l'armée (0 si opposition frontale ; 5 si parfaite convergence) _DCS
- Critère de Profondeur des considérations environnementales (0 si aucune influence sur impact du système conçu ; 5 si influence déterminante sur impact) _PCE
- Critère de Quantité de travail à mener en amont pour obtenir un processus intégrant la prise en compte des aspects environnementaux (0 si aucune charge de travail en amont ; 5 si effort titanesque nécessaire) _QTA
- Critère de Capacité de la tâche à être déléguée dans le processus de conception in fine (0 si pas possible de déléguer la tâche ; 5 si la tâche peut être réalisée par une tierce partie que le Métier écoconception) _CTD
- Acteurs concernés par la réalisation de la tâche dans le processus de conception in fine (acteurs et pourcentage d'implication)
- Résultat agrégé de l'impact sur la conception de la piste d'action considérée vis-à-vis de l'effort à réaliser dans le processus final par le métier écoconception (Résultat agrégé 1 = ½ NPP + DCS + 2 PCE + CTD) et résultat agrégé auquel sont soustraits les efforts à mener en amont pour mettre en œuvre la piste d'action dans le processus final, notamment par le métier écoconception (Résultat agrégé 2 = Résultat agrégé 1 – QTA)
- Les résultats surlignés en vert nécessitent d'avoir une base de données d'ACV sur le système conçu.

N°		Pistes d'action		nombre de parties prenantes impliquées autre que armée (X1/2)	degré de convergence des Spec. ENVT avec les intérêts de l'armée	profondeur des considérations environnementales (X2)	Qtité de travail à mener en amont pour processus intégré	capacité de la tâche à être déléguée in fine	Acteurs concernés	résultat / effort process Avec efforts à mener
1	AF	. S'assurer que AF balaye tout le Cycle de vie (notamment la phase de retrait de service /EOL)		3	4	2	1	3	. Animateur AF/AV 65% Métier Eco-conception 35%	12,5 (11,5)
2		. Introduire 1 fonction Contrainte ENVT « générique »	Exigences fonctionnelles élaborées **sans** base de données ACV	3	3-4	2-3	1-2	2-3	. Animateur AF/AV 55% Métier Eco-conception 45%	12,5 (11)
3			Exigences fonctionnelles élaborées **AVEC** base de données ACV	3	3	4	3-4	2	. Animateur AF/AV 40% Métier Eco-conception 60%	14,5 (11)
4			Exigence présentée comme un Résultat d'ACV global à respecter	0	1-2	4	3-4	0	. Animateur AF/AV 5% Métier Eco-conception 95%	9,5 (6)
5		. Introduire l'ENVT au sein de chaque fonction	Exigences fonctionnelles élaborées **sans** base de données ACV	2	2	2	2	2	. Animateur AF/AV 40% Métier Eco-conception 60%	9 (7)
6			Exigences fonctionnelles élaborées **AVEC** base de données ACV	2	2	3-4	3-4	1-2	. Animateur AF/AV 25% Métier Eco-conception 75%	11 (7,5)
7	Entre AF et Pré-AV	. Méthodo / formation / sensibilisation des concepteurs à l'ENVT (via l'ACV)		1	4	2-3	2-3	3	. Fournisseur industriel 70% Métier Eco-conception 30%	12,5 (10)
8		. Développement d'une archi / module / composant / techno peu impactants sur étagère		1	4	3	5	4	. éco-concepteurs industriels 85% Métier Eco-conception 15%	14,5 (9,5)
9	Pré-AV	. s'assurer que le mode de calcul des coûts intègre les différentes phases du cycle de vie		3	3-4	1-2	3	4	. Estimateurs de coûts 85% Métier Eco-conception 15%	12 (9)
10		. intégrant un 2ème critère dans l'AV rendant compte des aspects environnementaux	AV avec un deuxième indicateur prenant **Directement** en considérations les aspects environnementaux	0	1	5	4	0	. Architecte / Animateur AF/AV 5% Métier Eco-conception 95%	11 (7)
11			AV avec un deuxième indicateur prenant **INDIRECTEMENT** en considérations les aspects environnementaux	0	3-4	2-3	0	4	. Architecte / Animateur AF/AV 85% Métier Eco-conception 15%	12,5 (12,5)
12	Entre Pré-AV et Appel d'offre	. Jouer sur don de points ds appel d'offre (bonus-malus, niveau élimin…)	élaboré **sans** base de données ACV	1	3-4	2	1	2-3	. Architecte 50% Métier Eco-conception 50%	10,5 (9,5)
13			élaboré **AVEC** base de données ACV	1	3-4	3-4	2	2	. Architecte 35% Métier Eco-conception 65%	13 (11)

Figure 11. Synthèse des recommandations méthodologiques pour la DGA

Les remarques sur les pistes d'action sont les suivantes :

- La piste 1 se situe au tout début de l'AF et consiste à consulter les différentes parties prenantes qui permettent de couvrir toutes les phases du cycle de vie du système.
- La piste 2 est proche de la piste 1 dans l'esprit, mais ajoute l'introduction d'une fonction dédiée de type « Préserver l'Environnement » qui permet non seulement d'ancrer les spécifications fonctionnelles correspondant à la consultation des différentes parties prenantes des phases du cycle de vie, mais aussi d'apposer des contraintes « globales » au système comme une masse contenue, l'interdiction d'un type de matériau … spécifications supplémentaires qui pourraient potentiellement être moins en phase avec les intérêts de l'armée et moins aisées à déléguer car faisant appel à l'expérience du métier écoconception
- La piste 3 est identique à la piste 2 mais avec le background d'une base de données d'ACV qui permet de chiffrer certaines spécifications, de rajouter des contraintes d'impacts environnementaux à respecter sur un ou plusieurs indicateurs
- La piste 4 reprend l'idée d'apposer un objectif de score environnemental à respecter pour l'ensemble du système (dans un périmètre défini, avec des indicateurs définis …) et ne cherche pas à décrire l'ensemble des fonctions ayant de l'influence sur ce score. En d'autres termes, c'est la stratégie d'exiger un résultat plutôt que de détailler la manière de bien concevoir. La consultation des parties prenantes n'est pas requise mais il semble que cette exigence globale se confronte aux objectifs fonctionnels souhaités par l'armée et cette piste ne peut pas être déléguée par le métier écoconception.
- La piste 5 consiste à considérer les fonctions d'un système et à y insérer des contraintes environnementales. Cette stratégie permet de contraindre au plus près le système pour qu'il prenne en compte l'environnement, mais comparée à la piste 2 il existe le risque de redondance (même contrainte sur plusieurs fonctions) et de trop brider le champ des solutions possibles, le risque de ne pas avoir une vision globale du système (spécifications sur l'ensemble des phases du cycle de vie et globales au système), le risque d'être davantage en confrontation avec les objectifs fonctionnels souhaités par l'armée ou à l'inverse d'être redondant au niveau de la formalisation des critères fonctionnels (le critère fonctionnel « ne pas être bruyant au-delà de X dB » par exemple est cohérent avec le respect des enjeux environnementaux) et le risque que ce travail de spécification ne devienne trop fastidieux.
- La piste 6 est identique à la piste 5 mais avec le background d'une base de données d'ACV qui permet de chiffrer certaines spécifications, de rajouter des contraintes d'impacts environnementaux à respecter sur un ou plusieurs indicateurs.
- La piste 7, qui se situe en dehors du périmètre de l'AF et du Cahier des charges, consiste à sensibiliser les concepteurs de système à l'environnement en les formant à l'écoconception et aux outils d'ACV de manière à ce qu'ils conçoivent leurs futurs produits en étant imprégnées du respect des aspects environnementaux. Il est considéré que cette stratégie existe dans les faits si a minima un membre de l'équipe de conception du fournisseur est capable de réaliser une ACV.
- La piste 8 consiste à faire une veille active sur et/ou à développer des architectures, des modules, des composants ou des technologies peu impactants de manière à obtenir des éléments de solutions respectueuses de l'environnement sur étagère. Cette piste a le mérite d'amener l'écoconception de manière pro-active dans le processus mais nécessite une quantité de travail en amont énorme car les briques proposées doivent non seulement être peu impactantes mais aussi de performance égale ou supérieure à l'existant pour satisfaire les exigences de l'armée.
- La piste 9 propose de s'assurer que dans la pratique de l'AV, le mode de calcul des coûts donnés par les estimateurs de coûts intègre les différentes phases du cycle de vie (coût complet intégrant notamment la maintenance, la remise à niveau et la phase de retrait et non le seul coût d'acquisition).
- La piste 10 consiste à intégrer un 2ème critère de rationalisation dans l'AV rendant compte des aspects environnementaux, en plus des coûts. Cette stratégie permettrait a priori les meilleurs résultats d'un point de vue de la maîtrise des impacts environnementaux des solutions puisque les systèmes conçus dans leur globalité passent au tamis de ce critère. Cependant, cette optimisation apparait comme un effort de conception qui irait in fine à l'encontre de la satisfaction des exigences de l'armée. En outre, cette tâche ne pourrait quasiment pas être déléguée et nécessiterait un travail très important en amont (agréger les connaissances du passé pour avoir des estimations d'impacts de qualité proche de celles des estimateurs de coûts).

- La piste 11 consiste également à intégrer un 2ème critère de rationalisation dans l'AV, mais celui-ci serait en quelque sorte co-décidé avec toutes les parties prenantes et aurait pour but de viser l'efficience de fonctionnement du système (par exemple la masse pour le systèmes roulant), critère qui indirectement nourrit les objectifs de respect des aspects environnementaux (réduire la masse permet de moins consommer d'énergie en mouvement et de moins extraire de matériaux en amont et de moins traiter de matériaux en aval).
- La piste 12 propose de faire un barème d'attribution de points dans l'appel d'offre aux solutions répondant favorablement à des critères fonctionnels « importants » et « souhaitables », au-delà de ce qui est primordial. C'est un moyen de suggérer fortement vers quelle solution on veut aller (en l'occurrence respectueuse de l'environnement) sans pour autant l'imposer, ce qui évite une confrontation « directe » avec les objectifs fonctionnels souhaités par l'armée. Par contre, cette piste ne peut pas être largement déléguée à une tierce partie car elle requiert l'expertise du métier écoconception sur ce qui est attendu et sur ce que les fournisseurs peuvent fournir (notamment en prenant en compte leur trajectoire d'intégration des aspects environnementaux au cours du temps).
- La piste 13 est identique à la piste 12 mais avec le *background* d'une base de données d'ACV qui permet de chiffrer certaines spécifications, de rajouter des contraintes d'impacts environnementaux à respecter sur un ou plusieurs indicateurs.

Les résultats indiqués dans la dernière colonne rendent compte de l'agrégation des 5 critères. Il peut être observé les conclusions suivantes :

- Il n'existe pas de piste « miracle » qui obtiendrait un score au-delà de 16-17 (notation sur 22,5 avec les pondérations)
- Les 3 pistes offrant les meilleurs résultats requièrent de se doter d'une base de données ACV.
- Parmi les pistes actionnables très rapidement, la piste d'action 1 ou 2 peut être engagée au niveau de l'AF et la piste 11 au niveau de l'AV. La piste 12 pourrait également être intéressante pour compléter les spécifications « dures » par des incitations qui au cours du temps, subtilement, amèneraient les industriels à prendre davantage en considération les aspects environnementaux.

Recommandations court-terme à mettre en place :

La stratégie à court terme et à moindre effort consiste à compléter l'espace vide, en se positionnant sur les questions en dehors du périmètre des opérations. Les Pistes 1 ou 2 permettent de compléter le Cahier des charges avec des spécifications relatives à toutes les phases du cycle de vie, y compris la phase de retrait de service. La Piste 11 permet de se décentrer d'une rationalisation de la conception ne visant que le seul coût, ceci en intégrant un critère d'efficience de fonctionnement/construction, ce qui va dans le sens d'une prise en compte des aspects environnementaux, de manière indirecte. La Piste 12 permet d'inciter à réaliser une conception plus vertueuse d'un point de vue environnemental, mais sans contraindre (avec les niveaux fonctionnels « importants » et « souhaitables », au-delà de ce qui est primordial). Ce qui nécessite un peu plus de travail mais qui est accessible à ce stade est de compléter les bases de données des estimateurs de coûts pour que le mode de calcul des coûts aboutisse à un coût complet et non à un coût d'acquisition. (Piste 9)

Recommandations moyen-terme à mettre en place :

Un verrou structurel à la prise en compte des aspects environnementaux en conception est le recueil d'ACV. C'est d'abord le moyen de légitimer l'expertise du Métier écoconception au-delà du respect de certains aspects normatifs comme *REACH*. C'est ensuite la possibilité de faire de l'estimation d'impacts environnementaux dans les phases amont de projet, ce qui est très utile comme nous allons le voir ci-après.

Pour avoir des données ACV, une pré-étude pourrait être réalisée ou des stagiaires pourraient être sollicités, mais il semble stratégique d'associer les industriels concepteurs et fournisseurs de solutions à réaliser cette évaluation environnementale. Faire une ACV de sa solution est un moyen d'avoir en interne des compétences en éco-conception/environnement, au-delà des sensibilisations, formations et guidelines suggérées. L'attribution de nombreux points dans l'appel d'offre (Piste 12) pour la réalisation de l'ACV de sa solution semble un bon support. Cette sollicitation (demander une ACV de chaque solution) pourrait être effective à très court terme (Recommandation court terme si une telle trajectoire de montée en connaissances en ACV est retenue). Pour le Métier écoconception, procéder ainsi permettrait de capitaliser à plus long terme une base de connaissance sur les impacts

environnementaux des différents modules, et de se constituer une sorte d'abaques d'estimateurs d'impacts environnementaux.

Avoir une base de données ACV est le point de départ de toute une série de recommandations MT :

- Cette base de données ACV servirait d'abord pour donner des niveaux fonctionnels chiffrés à exiger en AF (Piste 3), pour pouvoir apposer des « warnings » sur certaines spécifications pouvant influer fortement sur l'impact environnemental final (Piste 6), warnings qui serviraient de points d'attention pour accompagner les concepteurs chez les fournisseurs industriels, pour avoir une base d'estimation d'impacts environnementaux lorsqu'il faut donner un avis d'expert environnemental en AV (demande ciblée dans l'esprit de la Piste 10) ou encore pour ajuster et chiffrer l'attribution de points dans l'appel d'offre (Piste 13).
- Ensuite, l'analyse de cette base de données ACV permettrait d'identifier les couplages entre modules (modifier tel dimensionnement du Module A provoque en cascade le surdimensionnement du Module C et telle modification sur le Module D…) et d'aboutir à des modèles paramétriques entre évolution d'une fonction et impacts environnementaux engendrés in fine. Cette compréhension fine de comment se construit la performance environnementale permettrait par exemple de cibler rapidement le périmètre des modifications potentielles engagées par un changement technologique/technique sur un module et donc la performance environnementale induite par ce changement. Mais aussi et surtout, elle permettrait de définir les points d'attention prioritaires pour apposer les spécifications fonctionnelles les plus pertinentes dans le cahier des charges.
- L'identification des spécifications clés pour obtenir des effets positifs sur la performance ACV du système conçu est le point de départ d'un travail de traduction formelle pour que ces exigences deviennent effectives dans le cahier des charges, c'est-à-dire qu'elles soient acceptées par les parties prenantes écrivant le cahier des charges (notamment les opérationnels de l'armée). Il s'agit de présenter les contraintes comme des critères permettant d'améliorer une performance, permettant de respecter une norme, ou d'éviter un risque. Introduire la notion de risque permet d'ouvrir le champ de discussion. De même, le travail d'aller interroger l'ensemble des parties prenantes des phases du cycle de vie (maintenance, phase de retrait …) permet de se décentrer du seuil point de vue des missions. Le meilleur de ces « stratagèmes » pour intégrer aspects environnementaux dans les spécifications est « l'indicateur masqué » c'est –à-dire celui qui sur-légitime un niveau fonctionnel naturellement attendu, comme minimiser drastiquement la masse.
- Capitaliser sur les modes de spécification pour intégrer aspects environnementaux (indicateur masqué, critère fonctionnel prenant en compte un risque potentiel …) et sur les effets en termes de performance ACV permet d'obtenir une grille (Importance sur performance ENVT / facilité de spécification). En considérant les macro-fonctions, qui sont récurrentes sur des systèmes de défense, il devient envisageable d'aboutir à des macro-fonctions paramétrées (cela rejoint tout le travail réalisé par M. Gobin et les acteurs du Projet DECADIESE dans le Bâtiment). Une sorte de Cahier des charges « prérempli » dans lequel les enjeux environnementaux sont intrinsèquement pris en compte.

<u>Recommandations long-terme à mettre en place :</u>

A plus long terme, lorsque l'intégration des aspects environnementaux au sein de la conception, de la spécification du système à l'élaboration de l'appel d'offre, sera routinisée, le Métier écoconception pourra avoir une stratégie « pro-active » : plutôt que d'essayer de spécifier un futur système acceptable du point de vue environnemental pour susciter en réaction une solution pas trop impactante développée par un fournisseur industriel, la stratégie consistera à anticiper les points d'attention technologiques du futur système et à co-développer des briques de solution sur étagères qui soient à la fois performantes et respectueuses de l'environnement. Le document du Cedocar sur l'éco-conception navale qui recueille les pratiques actuelles et futures dans les activités de construction navale civile et militaire, en France et à l'étranger, s'inscrit dans cette logique pro-active (Fauvaud et al., 2011).

4.4 Retour d'expérience de la DGA, enseignements et perspectives pour la DGA

4.4.1 Contexte et besoin DGA : l'intégration de la dimension environnementale en amont de la conduite des projets d'armement

La dimension environnementale pour la DGA est appréhendée comme un risque pouvant dégrader les performances opérationnelles des systèmes d'arme pendant leur cycle de vie. A ce titre, elle fait l'objet d'exigences de conceptions à part entières dans les cahiers des charges techniques de la DGA depuis 2007. Les fortes contraintes règlementaires, notamment en lien avec les problématiques de substances dangereuses, a permis une diffusion systématique de la thématique environnementale dans la conduite des opérations d'armement. Celle-ci a connu une forte évolution en 2018 (Instruction Ministérielle n°1618/ARM/CAB sur le déroulement des opérations d'armement (Ministère des Armées, 2019)), avec la systématisation de la réalisation d'analyses fonctionnelles suivies d'analyses de la valeur afin de concevoir des systèmes dimensionnés au juste besoin, de limiter les coûts de possession et faciliter l'émergence de technologies innovantes.

La modification du centre de gravité des conduites des opérations d'armement vers les phases amonts et l'accent donné au développement accru de l'expression du besoin dans le cadre d'une approche capacitaire, représentent un terrain propice pour une meilleure prise en compte de la dimension environnementale (approche fonctionnelle à portée plus large en terme d'influence sur le design). La prise en compte amont de cette dimension est cependant limitée par un certain nombre de contraintes à lever, qui concernent en premier lieu son intégration dans un processus d'analyse fonctionnelle et de la valeur (aspect technique lié à l'insertion de l'éco-conception dans des approches classiques de conception).

Le contexte DGA présenté en phase 1 (donneur d'ordre – autorité technique) associe la réussite du dialogue écoconception/analyse fonctionnelle/analyse de la valeur à un premier facteur complémentaire clé, celui de **l'implication des parties prenantes des étapes amonts de la conception**. Chaque année, une centaine d'opérations d'armements par an sont réalisées, même si le déploiement des approches fonctionnelles est surtout effectué pour les opérations majeures (une dizaine par an). Les parties prenantes impliquées sont nombreuses, et le plus souvent peu sensibilisées aux questions environnementales : animateurs d'analyse fonctionnelle, estimateurs de coûts, architectes et experts techniques, experts capacitaires, militaires. Le fonctionnement en plateau est piloté par un architecte technique de la DGA (rôle de transcripteur du besoin militaire) et d'un officier de liaison (expression du besoin des forces), et intègre, à partir des phrases ultérieures d'analyse de la valeur, le Maître d'œuvre industriel (MOI) qui aura la charge de développer l'architecture détaillée du système et de piloter sa fabrication jusqu'aux qualifications étatiques, sous l'autorité de la DGA. Dans ce contexte, la nécessité d'une démarche activable en autonomie (sans l'aide systématique d'experts éco-conception, notamment dans le cadre d'opérations mineures) et adaptées aux différentes parties prenantes est un point essentiel à prendre en compte. Dans cette optique, l'enjeu est de faire apparaitre la dimension environnementale comme critère de choix à part entière et de **permettre aux parties prenantes d'identifier le coût environnemental de leurs décisions de conceptions** (que les prescriptions soient au final retenues ou non).

Le deuxième facteur complémentaire est directement en **lien avec le contexte donneur d'ordre de la DGA** (Figure 12) qui condition la nature des informations environnementales portées à la connaissance des acteurs de conception. L'inertie des programmes (parfois 15 ans) et la durée de vie des systèmes de défense (jusque 40-50 ans) limite de facto l'accès aux données environnementales fortement périssables. Comment bâtir des règles de conception et aiguiller les choix de concepteurs à partir de retours d'expériences lointains et techniquement non dépassés ?

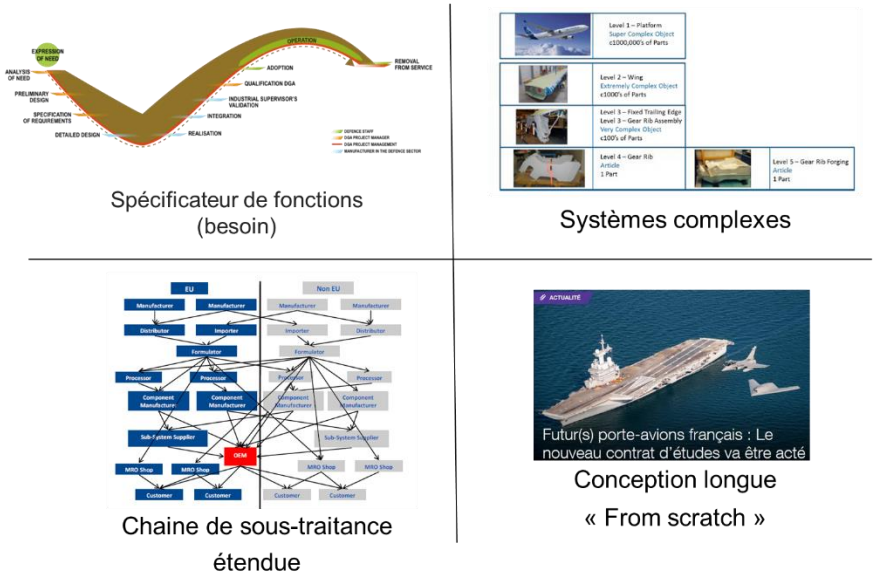


Figure 12. Contexte donneur d'ordre

4.4.2 Retour d'expérience sur le cas d'étude et les propositions méthodologiques : une méthodologie agile, adaptée au dimensionnement de systèmes complexes.

Le cas d'étude a permis d'aboutir à une proposition de canevas adaptatif permettant de visualiser les trajectoires possibles (à travers 13 pistes d'actions) et d'orienter l'organisation selon le contexte des opérations d'armement (majeures/mineures, typologie de système…), de la nature des informations environnementales disponibles (ACV, dires d'expert) et le niveau d'implication des parties prenantes.

Deux trajectoires principales se dégagent :

- **La trajectoire dite « contrainte environnement générique »** qui repose sur une fonction contrainte générique exprimée aux côtés des fonctions classiques d'un système (« être mobile », « Communiquer » …). Cette fonction « Préserver l'environnement » est cependant caractérisée à travers des fonctions secondaires définies selon le retour d'expérience acquis sur des systèmes similaires. Cette trajectoire semble adaptée pour des opérations mineures, où une fonction englobante est transmise à l'équipe de conception clé en main mais qui ne permettra pas d'appréhender en profondeur l'ensemble des problématiques environnementales potentielles. Ce point est particulièrement limitant pour la phase d'analyse de la valeur, puisque deux technologies en concurrence ne pourront pas être discriminées sur la base d'un coût environnemental défini de manière trop générique.
- **La trajectoire dite « Environnement au sein de chaque fonction »** qui permet d'intégrer les considérations environnementales à prendre en compte pour chaque fonction principale (et ceci pour chaque phase du cycle de vie du système). Par exemple, pour la fonction « Mobilité », les enjeux environnementaux à prendre en compte et qui vont dimensionner les choix de technologie peuvent être ceux-ci (non exhaustif) :
    - Phase d'utilisation : la typologie de l'énergie mobilisée et le choix de l'architecture de propulsion (influence de la conso d'énergie, du choix de l'énergie, de la masse du système à mouvoir, de la durée de vie des batteries et de leur besoin de renouvellement) ;
    - Phase Matière première : le recours à des matériaux rares/critiques (si la propulsion devient électrique par exemple) ;
    - Fin de vie : l'effet d'une technologie de propulsion sur son potentiel de démantèlement (influence de la fin de vie des batteries).

La deuxième trajectoire semble permettre une prise en compte plus profonde des considérations environnementales et favoriser les choix de rupture. A contrario, elle parait plus complexe à mettre en œuvre opérationnellement avec des parties prenantes non expertes. De plus, elle va nécessiter un travail préparatoire poussé pour définir, parmi les fonctions les plus fréquentes des systèmes militaires, les principaux enjeux environnementaux dimensionnant (notion d'effort plus intense). Ce qui

laisse à penser que cette méthode ne pourra être déployée que pour des opérations majeures et devra mobiliser un expert éco-conception à part entière pour animer la démarche (au moins à des jalons clés). La question de la nature des informations environnementales se pose. Si cette trajectoire peut être appliquée sans mobiliser l'outil ACV (via des retours d'expérience à « dires d'expert »), le risque est de restreindre les choix de conception à des mécanismes routiniers, limitant l'application de choix de rupture. A contrario, le recours à l'ACV impose un certain nombre de prérequis en terme d'études quantitatives poussées sur un large panel de systèmes aux caractéristiques éloignées. La question de l'allocation des résultats d'ACV aux principales fonctions d'un système doit nécessairement passer par un travail de fond mobilisant les connaissances d'experts architectes ; facteur pouvant être très limitant dans le cadre de ressources parfois restreintes. C'est cependant cette direction qui peut amener le plus de résultat à l'étape d'analyse de la valeur, avec la possibilité de discriminer le coût environnemental d'une fonction principale suivant les technologies en concurrence (le but poursuivi).

En définitive, la proposition méthodologique répond au besoin exprimé par la DGA en s'adaptant à un contexte mouvant et permettant, dans tous les cas de figure, de trouver le bon équilibre en termes d'effort/retour sur investissement. Le cas d'étude DGA a permis d'éclairer les processus, d'identifier les parties prenantes, leurs rôles, et d'imaginer la manière avec laquelle ils pourront participer à moyen terme à l'application de la meilleure démarche.

4.4.3 Perspectives : Transcription dans les processus DGA et mise en application.

La trajectoire dite « contrainte environnement générique », la plus facile à implémenter et celle qui est susceptible de rencontrer le plus d'adhésion, est celle qui a été au final retenue pour une application à court terme. C'est cette démarche qui a été proposée à l'équipe de programme DGA dans le cas d'étude mené. Cependant, l'effet de l'intégration de la nouvelle fonction environnement n'a pas pu être pleinement mesuré puisque le programme avait déjà atteint la phase d'analyse de la valeur en cours de projet. Un travail additionnel de constitution d'un guide prêt à l'emploi pour les animateurs d'analyse fonctionnel doit être réalisé. Ce guide devra permettre, pour une typologie de système donné (durée de vie, système mobile ou statique, scénario d'emploi…) quelles sont les caractéristiques de la fonction générique environnement. Un stage pourrait être envisagé sur la question en 2021. Ensuite une cible de 4/5 opérations tests sera sélectionnée.

Afin de rationaliser au mieux les ressources mobilisables côté DGA, il a été décidé de favoriser l'implémentation de la trajectoire « Environnement au sein de chaque fonction » qui présente un intérêt plus marqué pour les opérations majeures et donc un retour sur investissement/visibilité plus poussé. Deux axes principaux doivent être développés :

- Lancement d'études permettant de réaliser des plateformes « représentatives » des systèmes d'armes afin d'accroitre le niveau de connaissance des profils environnementaux et d'être capable de réaliser une meilleure allocation entre équipements physiques et technologies, impacts environnementaux associés et fonctions principales (Figure 13). La démarche est actuellement en cours sur un système terrestre mobile dans le cas d'un marché de réalisation et elle pourrait s'engager à moyen terme pour d'autres plateformes (notamment naval). Cette phase pourrait faire l'objet d'un développement plus soutenu d'ici fin 2020, afin d'aboutir à un process déployable en 2021.
- Constitution d'une base de données environnementales des briques technologiques en phase de maturation, dans le cadre des projets R&T par la DGA. Le principe est de favoriser l'évaluation des caractéristiques environnementales des technologies/innovations en cours de développement, afin, le cas échéant, de favoriser leur déploiement dans les programmes de réalisation. C'est un point majeur qui doit venir renforcer l'expression des concepts lors de l'analyse de la valeur dans le cadre de l'intégration de la notion de coût environnemental. Cette vision est actuellement en déploiement au sein d'une étude amont DGA ayant démarrée en février 2020 (concernant des processus de fabrication matériaux) et va se poursuivre jusque 2022.

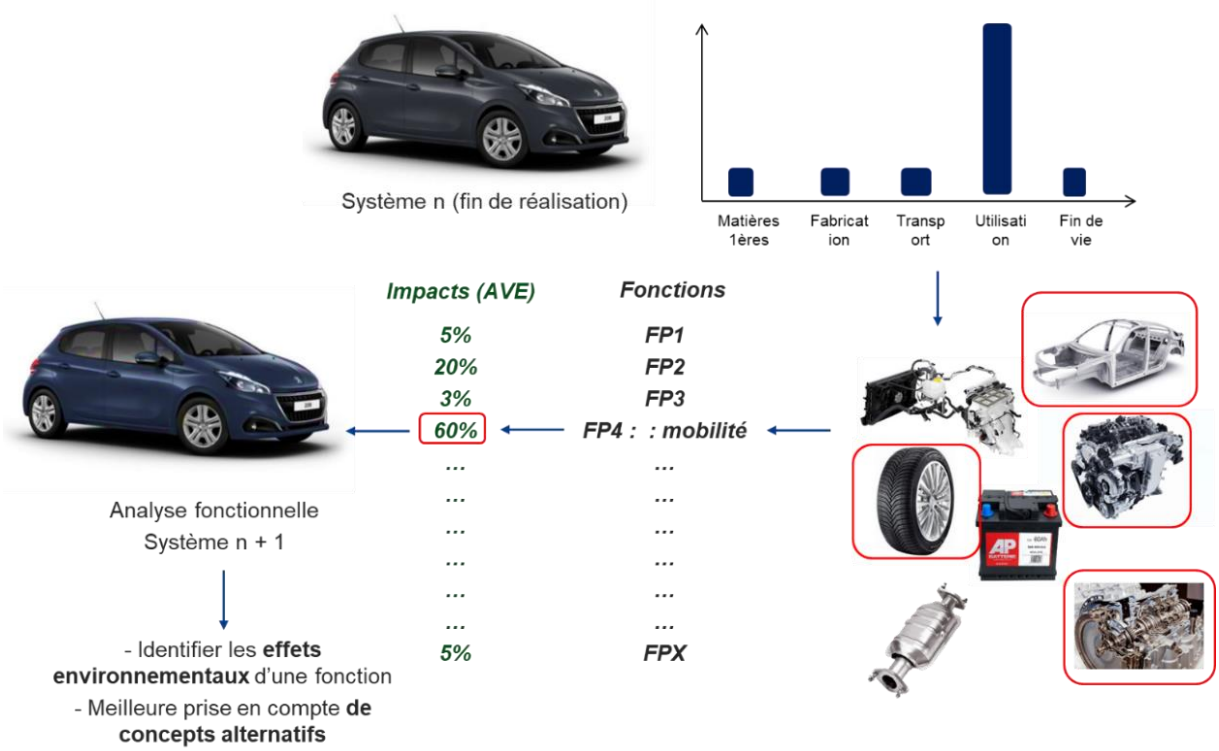


Figure 13. ACV et allocation fonctionnelle

5. Perspective : rédaction d'un guide méthodologique

Les auteurs du rapport souhaitent poursuivre la valorisation des résultats du projet par la publication d'un guide méthodologique (livre blanc) actuellement en cours de rédaction. Ce guide se base sur le présent rapport et sur l'ensemble des données collectées pendant le projet AVEC, mais nécessite des recherches ou consultations plus approfondies sur certains aspects, notamment en lien avec les partenaires industriels du consortium. Le plan prévisionnel de l'ouvrage est présenté dans cette section. La finalisation de l'ouvrage est prévue pour la fin de l'année 2020.

AVEC

ANALYSE DE LA VALEUR & ECO-CONCEPTION

Un livre blanc pour mieux éco-concevoir par la Valeur

AUTEURS

Date
Paris, France

Une étude portée par :

CentraleSupélec
université PARIS-SACLAY

DGA

Une étude financée par :

Réseau Eco SD Eco-conception de systèmes durables

ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Avant-propos
Décrire l'intérêt d'un tel projet et d'un tel ouvrage en donnant la parole à l'expert Analyse de la Valeur, seul contributeur extérieur au réseau EcoSD
Contributeur : Olaf de Hemmer Gudme
Longueur : 1 page

Introduction
Présenter le réseau EcoSD, le projet AVEC, le consortium du projet
Présenter l'objectif et la structuration de l'ouvrage
Introduire les différents chapitres
Contributeur principal : François Cluzel
Autres contributeurs : Olivier Pialot, Marc Janin, Fabien Michelin
Longueur : 3-4 pages

Chapitre 1 : Etat de l'art de la littérature scientifique
Explorer les différents champs bibliographiques traités par Ghaya Ben Hamouda, Jean Sarr, et complétés par Olivier Pialot
Illustrer quelques approches plus en détail (et renvoyer aux fiches pratiques en annexe)
Faire une synthèse de la littérature en identifiant les principales familles d'approches, leurs avantages mais aussi leurs manques
Contributeur principal : Olivier Pialot
Autres contributeurs : François Cluzel
Longueur : 10 à 20 pages

Chapitre 2 : Etat de l'art des pratiques industrielles
Explorer les besoins, réflexions, processus, méthodes et outils en lien avec la thématique AVEC dans différents secteurs industriels
Se positionner par rapport à l'état de l'art du chapitre 1
Donner la parole aux industriels

2.1 Secteur industriel : Défense
2.1.1 Le mot de l'industriel : Direction Générale de l'Armement
Laisser la parole à la DGA pour exprimer son intérêt sur le sujet
Contributeurs : Marc Janin & Fabien Michelin
Longueur : 1 page
2.1.2 Quels besoins ?
Réexprimer les besoins identifiés
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 1 à 2 pages
2.1.3 Quels processus, méthodes et outils ?
Réexprimer les processus, méthodes et outils identifiés, en place ou en réflexion
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 5 pages

2.2 Secteur industriel : Automobile
2.2.1 Le mot de l'industriel : Groupe PSA
Laisser la parole au Groupe PSA pour exprimer son intérêt sur le sujet
Contributeurs : Julien Garcia
Longueur : 1 page
2.2.2 Quels besoins ?
Réexprimer les besoins identifiés
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 pages
2.2.3 Quels processus, méthodes et outils ?
Réexprimer les processus, méthodes et outils identifiés, en place ou en réflexion
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 5 pages

2.3 Secteur industriel : Télécommunications

2.3.1 Le mot de l'industriel : Orange
Laisser la parole à Orange pour exprimer son intérêt sur le sujet
Contributeurs : Marc Vautier
Longueur : 1 page
2.3.2 Quels besoins ?
Réexprimer les besoins identifiés
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 pages
2.3.3 Quels processus, méthodes et outils ?
Réexprimer les processus, méthodes et outils identifiés, en place ou en réflexion
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 5 pages

2.4 Secteur industriel : Construction
2.4.1 Le mot de l'industriel : Vinci Construction
Laisser la parole à Vinci Construction pour exprimer son intérêt sur le sujet
Contributeurs : Christophe Gobin
Longueur : 1 page
2.4.2 Quels besoins ?
Réexprimer les besoins identifiés
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 pages
2.4.3 Quels processus, méthodes et outils ?
Réexprimer les processus, méthodes et outils identifiés, en place ou en réflexion
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 5 pages

2.5 Secteur industriel : Energie
2.5.1 Le mot de l'industriel : RTE
Laisser la parole à RTE pour exprimer son intérêt sur le sujet
Contributeurs : Guillaume Busato
Longueur : 1 page
2.5.2 Quels besoins ?
Réexprimer les besoins identifiés
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 pages
2.5.3 Quels processus, méthodes et outils ?
Réexprimer les processus, méthodes et outils identifiés, en place ou en réflexion
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 5 pages

2.6 Synthèse et positionnement
Faire la synthèse des commonalités et disparités entre secteurs
Mettre en regard de l'état de l'art du chapitre 1
Conclure sur l'aspect trop théorique ou mathématique de nombreuses approches, et le manque de réflexions structurées et diffusables sur les bonnes pratiques de l'AF/AV dans une optique d'éco-conception.
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel
Longueur : 2 à 4 pages

Chapitre 3 : Cas d'étude : l'aspirateur balais sans fil
Prendre le cas d'étude de l'aspirateur balais sans fil pour préserver la confidentialité des cas réellement traités sur le projet DGA
Expliquer la méthode (les ateliers) qui a été mise en place
Parcourir les processus d'Analyse de la Valeur au sens large de l'aspirateur pour localiser les moments stratégiques pour intégrer des considérations d'éco-conception
Les illustrer et les détailler
Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel, Olaf de Hemmer Gudme
Autres contributeurs : Marc Janin, Fabien Michelin, Christophe Gobin
Longueur : 10 à 20 pages

Chapitre 4 : Apprentissages & recommandations

Abstraire les résultats du chapitre 3, les états de l'art des chapitres 2 et 3 pour proposer un ensemble de lignes directrices (recommandations) pour mieux prendre en compte la dimension environnementale dans un processus d'analyse de la Valeur

Proposer des lignes directrices générales sur l'ensemble du processus, des acteurs, des outils et méthodes

Rentrer dans le détail de certains moments stratégiques. Exemple : constitution du cahier des charges fonctionnelles.

Contributeurs : Olivier Pialot & François Cluzel, Olaf de Hemmer Gudme
Autres contributeurs : Marc Janin, Fabien Michelin, Christophe Gobin
Longueur : 8 à 12 pages

Conclusions & perspectives

Synthétiser l'ensemble de l'ouvrage

Conclure sur l'état des pratiques et les directions actuellement explorées

Présenter les perspectives de rechercher et industrielles

Contributeurs : Olivier & François
Longueur : 2 à 4 pages

Bibliographie

Lister l'ensemble des références bibliographiques

Annexes

Présenter les fiches pratiques de certaines méthodes citées dans le chapitre 2

6. Valorisation des résultats et conclusion

6.1. Valorisation des résultats

Les résultats du projet ont été et seront valorisés de différentes manières :

- Octobre 2019 : création d'un module « Value Analysis of Complex Systems » au sein de la formation doctorale *Eco-Design of Complex Systems* EcoDoCS'19 (https://ecodocs2019.sciencesconf.org/) financée par EcoSD et S-mart, soutenue par la Design Society et organisée par CentraleSupélec, Supméca et AgroParisTech. Cette formation doctorale initiée au sein du réseau EcoSD (Cours Doctoral d'Excellence 4) réunit tous les ans depuis 7 ans 10 à 20 doctorants français et internationaux autour de l'éco-conception de systèmes complexes. Le module sera réitéré dans les prochaines éditions.
- Fin 2020 : les résultats du projet alimenteront deux des 10 séances du cours *Ingénierie de la Conception* (sous la responsabilité de François Cluzel et Flore Vallet) de la nouvelle 3ème année du cursus Ingénieur CentraleSupélec (40 étudiants).
- Fin 2020 : date prévisionnelle pour la finalisation du guide méthodologique qui représente l'aboutissement final du projet AVEC.

A l'issue de la dernière phase du projet, les points suivants pourront être abordés :

- Sur la base de ces résultats, la publication d'un article de conférence ou de revue scientifique sera envisagé.
- Il pourra également être envisagé un dépôt de projet plus ambitieux (ADEME, ANR…) après concertation avec les membres du consortium à l'automne 2020.

6.2. Conclusion

Les travaux présentés dans ce rapport ont permis d'aboutir un premier ensemble de recommandions méthodologiques émises dans le cadre du cas d'étude DGA complété par le cas d'étude sur l'aspirateur. Ces recommandations sont facilement généralisables à tout processus d'Analyse de la Valeur, du moins dans le contexte commun aux différents industriels du projet AVEC, c'est-à-dire dans le cadre de la spécification d'un produit ou d'un système ensuite transmise à un fournisseur ou prestataire.
La principale perspective de ce travail réside dans l'approfondissement de ces recommandations, leur formulation plus précise pour aboutir réellement à un guide méthodologique dont la publication est prévue fin 2020. Ce guide permettra également de d'expliciter plus en détail les pratiques et attentes des industriels relativement à une démarche d'Analyse de la Valeur au sens large, dans une optique d'Eco-Conception.

7. Annexes

7.1. Questionnaire destiné aux partenaires industriels du projet

AVEC

Questionnaire

Bonjour Madame/Monsieur ..... , je me présente .....
Le Réseau EcoSD (réseau national de chercheurs en Eco-conception) réalise une enquête visant à comprendre les besoins des industriels pour favoriser l'intégration des enjeux environnementaux en conception de produits, plus précisément pour croiser les pratiques d'éco-conception et/ou ACV avec l'Analyse Fonctionnelle et/ ou l'Analyse de la Valeur. Le questionnaire comporte 18 questions.

AU NIVEAU CONCEPTION

Au niveau « Périmètre de l'entreprise » :

Q. 1/ Votre entreprise se situe sur quel(s) secteur(s) industriels ? Quel(s) produit(s) sont concernés ?

	Secteur Industriel			
Produit concerné :	AUTOMOBILE / TRANSPORT	CONSTRUCTION / EQUIPEMENT	PRODUIT ELECTRONIQUE	AUTRE

Q. 2/ Qui sont vos clients ? en B2B (Business to Business) ou B2C ?

Client	B2B / B2C	Type de Systèmes vendus

Au niveau « Méthode et Outil de conception » :

Q. 3/ Quel est le processus de conception de vos systèmes, pouvez-vous nous le décrire :

Quel processus global de conception ? SADT	
Quels acteurs ?	
Quelles difficultés ?	

Q. 4/ Comment gérez-vous l'innovation ? Avez-vous un autre processus dédié ? Combien de projet de conception cela représente-t-il en % ?

D'une génération à l'autre ?	

Au niveau de l'Analyse Fonctionnelle

Q. 5/ Comment se passe la définition du Cahier des charges ? Quels services/partenaires sont impliqués ? Qui réalise le premier « brief » ?

Scénario de lancement d'un new system	
Services impliqués ? *Partenaires impliqués ?*	

Q. 6/ Quelle Méthode est utilisée pour l'Analyse fonctionnelle ?

QFD ? AF ?	
Logiciel dédié ?	

O. Pialot *page 1 / 3* *22/06/2020*

Fichier XL ?	
Quelles difficultés ?	

Au niveau de l'Analyse de la Valeur

Q. 7/ Comment se passe la définition de l'Analyse de la Valeur ? Quels services/partenaires sont impliqués ?

Scénario de l'AF (presta ? avec tous les acteurs en présentiel ? ...)	
Services impliqués ? Partenaires impliqués ?	

Q. 8/ Quel support méthodologique est utilisé pour l'Analyse de la Valeur ?

Logiciel dédié ? Fichier XL ?	
Données nécessaires ?	
Quelles difficultés ?	

AU NIVEAU ECO-CONCEPTION

Au niveau « Situation de l'entreprise » :

Q. 1/ Quelles sont la/les directive(s) et norme(s) en vigueur concernant la fin de vie des produits qui s'applique(nt) à vos produits ? *Préciser les références des directives et normes concernées :*

DEEE / RoHS / VHU /

Q. 2/ Quels sont les propres objectifs que se fixe votre entreprise pour la prise en compte de l'environnement en conception ? Comment vous positionnez-vous vis-à-vis de vos concurrents sur la fin de vie des produits ? Quel est l'entreprise la plus pro-active dans votre secteur ?

Positionnement :	*Leader pro-actif :*

Au niveau « Indicateurs de Conception » :

Q. 3/ En conception, quels indicateurs utilisez-vous ? Répondez OUI ou NON aux propositions suivantes :

. Taux de recyclabilité		OUI		NON
. Temps de démontabilité		OUI		NON
. Homogénéité des matériaux		OUI		NON
. autre :				

Q. 4/ Quel est le niveau de modularité de votre système :

. la modularité pour favoriser la maintenance et les réparations		OUI		NON
. la modularité pour faire face à des risques d'obsolescence sur certains modules		OUI		NON
. la modularité faire évoluer le produit fonctionnellement, de manière pro-active		OUI		NON
. autre :				

Au niveau « Choix de Matériaux » :

Q. 5/ En quelle fraction de matériaux votre produit se décompose-t-il, si l'on considère % de plastiques, % de métaux et % de composants électroniques ?

	% Plastiques		% Métaux		% Composants Electroniques

Q. 6/ Vos produits contiennent-ils?

des substances toxiques à isoler lors du process de fin de vie ?		OUI		NON
des matières « facilement » recyclables (matériau recyclé homogène et proche des performances du matériau initial) ?		OUI		NON
des matériaux recyclés		OUI		NON

Au niveau « Relation Client » :

Q. 7/ Quelle relation client au cours de la vie du produit ? Relation de vente ou de service ?

Q. 8/ Sur l'ensemble des produits distribués, pouvez-vous évaluer quel est le pourcentage les produits collectés en fin de vie pour être traités (recyclage ou remanufacturing) ?

	% de Produits dirigés vers du recyclage		% de Produits vers NO recycling option

Au niveau « Méthode et Outil » :

Q. 9/ Pour la prise en compte de l'environnement dans la conception de vos produits, vous utilisez :

Quelle méthode d'éco-conception ?	
Quels logiciels ?	
Quelle base de données ?	

Q. 10/ Qui fait quoi dans votre processus d'éco-conception ? Quelles difficultés avez-vous ?

Quels acteurs ?	
Quel processus ?	
Quelles difficultés ?	

Nous vous remercions de votre participation active et nous vous tiendrons informés des développements de ce projet. En vous souhaitant une bonne journée.

Quel Produit pour le cas d'étude ?

7.2. Rapport de mémoire thématique de Ghaya Ben Hamouda

Le rapport est fourni en annexe externe de ce rapport, sous forme d'un document PDF.

Références bibliographiques

Classer les références par ordre alphabétique des noms d'auteur ou par ordre d'apparition dans le texte. Si plusieurs auteurs, les séparer par une virgule suivi d'un espace.
Il est vivement conseillé de les numéroter, avec renvoi depuis le texte vers la bibliographie.

- Cluzel F., Yannou B., Da Costa P., Gobin C., 2017. "The DECADIESE methodology – Extending usage and value creation perspectives of a building by value and externalities management", in How eco-design of products and services can embrace the use phase?, Domingo L., Rio M., Durieux X., Vautier M., (Ed.), Presses des Mines, Paris, France, ISBN : 978-2356714725.
- De Hemmer Gudme O., Poissonier H., 2017. « Valeur(s) et Management - Des méthodes pour plus de valeur(s) dans le management », 2nde édition, Collection Question de Société, Editions EMS, 344 pages, ISBN : 978-2-37687-072-2.
- Fauvaud S., Forgeneuf P., Le Joncour F., 2011. Eco-conception navale : Pratiques actuelles et futures dans les activités de construction navale civile et militaire, en France et à l'étranger, CEntre d'information et de DOCumentation de l'ARmement (Cedocar).
- Ministère des Armées, 2019. Instruction n° 1618/ARM/CAB sur le déroulement des opérations d'armement, http://circulaires.legifrance.gouv.fr/index.php?action=afficherCirculaire&hit=1&retourAccueil=1&r=44542
- Lindahl M., 1999. E-FMEA - a new promising tool for efficient design for environment, in Proceedings of the First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing,
- Lindahl M., 2001. Environmental effect analysis - how does the method stand in relation to lessons learned from the use of other design for environment methods. Proceedings of EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing.
- Oberender, C., Birkhofer, H., 2004.The Eco-Value Analysis – An Approach to Assigning Environmental Impacts and Costs to Customers' Demands, Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Rohmer S., Yonusi N., 2009. Robust Environmental Evaluation of Industrial Systems, 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE).
- Yen S.B., Chen J.L., 2005. An Eco-Innovative Tool by Integrating FMEA and TRIZ Methods, 4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing.

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1. Contexte et besoins des cas industriels étudiés 19
Tableau 2. Grandes lignes des pratiques actuelles de conception des cas industriels 20
Tableau 3. Grandes lignes des pratiques actuelles d'écoconception des cas industriels 21
Tableau 4. Résultats du groupe 1 32
Tableau 5. Résultats du groupe 2 33

Figures

Figure 1. Chronologie du projet AVEC 13
Figure 2. Processus méthodologique du projet AVEC 15
Figure 3. Capture d'écran de l'outil AMDECO (Rohmer & Younsi, 2009) 18
Figure 4. Exemple de graphe utilisé dans une démarche d'Analyse de la Valeur à la DGA 24
Figure 5. Pistes d'enrichissement d'une démarche d'Analyse de la Valeur par des considérations environnementales 26
Figure 6. Définition des délimitations du besoin d'usage 27
Figure 7. Panorama des fonctions contraintes inhérentes à la prise en compte des aspects environnementaux (d'après un document interne de travail fourni par M. Janin) 28
Figure 8. : Liste des pistes potentielles pour intégrer les aspects environnementaux dans le processus de spécification et de conception 30
Figure 9. : Liste des pistes potentielles pour intégrer les aspects environnementaux dans le processus de spécification et de conception adaptée au cas industriel de la DGA 31
Figure 10. : Présentation de l'évolution des aspirateurs balai et de la problématique des ateliers 35
Figure 11. Synthèse des recommandations méthodologiques pour la DGA 40
Figure 12. Contexte donneur d'ordre 45
Figure 13. ACV et allocation fonctionnelle 47

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ACV	Analyse de Cycle de Vie
AF	Analyse Fonctionnelle
AV	Analyse de la Valeur
AVEC	Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception
DGA	Direction Générale de l'Armement
EC	Eco-Conception
EcoSD	Le Réseau EcoSD est une association loi 1901 dont le but principal est de favoriser les échanges entre chercheurs, entre industriels et entre chercheurs et industriels, afin de créer et diffuser les connaissances dans le domaine de l'Eco-conception de Systèmes pour un Développement durable (EcoSD) en France, et au-delà de faire reconnaitre l'expertise française en EcoSD à l'international.

L’ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L’Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l’économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

EXPERTISES

AVEC
ANALYSE DE LA VALEUR POUR L'ECO-CONCEPTION

Résumé
Le projet AVEC (Analyse de la Valeur pour l'Eco-Conception) est un projet mené dans le cadre du réseau EcoSD et co-financé par EcoSD et l'ADEME, porté par CentraleSupélec (François Cluzel, Olivier Pialot) et la DGA (Fabien Michelin, Marc Janin), avec la participation d'autres membres industriels ou universitaires du réseau EcoSD. Le projet vise à investiguer les liens entre les démarches d'Analyse de la Valeur et d'Analyse Fonctionnelle d'un côté, et les approches d'Eco-Conception et d'Analyse de Cycle de Vie de l'autre. En particulier est étudiée la manière dont la dimension environnementale peut intégrer une approche d'Analyse de la Valeur en contexte industriel. Pour mener à bien cet objectif, un état de l'art de la littérature scientifique a été mené conjointement à un diagnostic des méthodes, outils et pratiques chez les industriels participant au projet. A l'issue de ce travail préparatoire, deux cas d'étude (un à la DGA, en partie confidentiel, un sur un cas non confidentiel de produit) ont permis de parcourir l'ensemble d'un processus d'Analyse de la Valeur et de discuter les différentes pistes d'intégration de la dimension environnementale. Le rapport aboutit à un ensemble de recommandations méthodologiques. Un guide méthodologique plus conséquent est prévu par la suite après quelques travaux d'approfondissement.

Ce rapport propose 13 recommandations méthodologiques permettant la bonne intégration de la dimension environnementale dans un processus d'Analyse de la Valeur dans une perspective d'Eco-Conception.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr