

## RECOMMANDATIONS PRATIQUES POUR L'ACV PROSPECTIVE / REFERENCES ET EXEMPLES DANS LE DOMAINE DE L'ENERGIE

### SYNTHESE

Janvier 2017

#### Responsables scientifiques :

- **Florent Querini**  
ECOSTATIS - 5, rue Royale  
69001 LYON



- **Frédérique Bouvart, Emmanuel Hache, Stéphane Tchung-Ming**  
IFP Energies nouvelles - 1 et 4 avenue de Bois Préau  
92852 Rueil-Malmaison Cedex



L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

## I. Contexte et objectifs de l'étude

Les objectifs d'émissions de gaz à effet de serre pour l'Europe à horizon 2050, le développement des stratégies via l'ACV conséquentielle, les études de produits ou systèmes à longue durée de vie (bâtiment, transport) nécessitent une vision prospective des flux d'énergie et de matières. Ainsi, pour appuyer des calculs prospectifs au sein d'ACV, les données d'inventaires devraient représenter des horizons de temps adaptés et lointains. Des organismes spécialisés réalisent des simulations prospectives concernant les énergies (ex. mix énergétiques possibles, impacts associés à la production de telle ou telle énergie, introduction de solutions innovantes ...) ou les ressources (ex. disponibilité possible, consommations possibles, mode d'exploitation et impacts associés) à des horizons lointains (2030, 2050). D'autres organismes (ou les mêmes) en déduisent des inventaires de cycle de vie associés à ces énergies et ces ressources... Cependant, ces études sont fondées sur des choix et méthodologies complexes, mal connues et difficilement prévisibles.

Dans ce cadre, SCORE LCA a souhaité réaliser une étude afin de :

- Etablir un état des lieux des inventaires existants et faire une analyse de ces inventaires
- Etablir des recommandations pour utiliser ces inventaires en ACV
- Illustrer avec des exemples concrets

## II. Présentation synthétique de la méthodologie

Cette section présente de manière succincte la méthodologie à suivre pour réaliser une ACV prospective, sous forme de fiches pratiques. Elle constitue, pour un praticien déjà familiarisé, un guide lorsqu'il réalise une ACV prospective.

0. TYPOLOGIE PROSPECTIVE			
	<b>Axe 1 – Objectifs projet</b> <i>Expliciter la ou les questions posées, et le contexte dans lequel elle(s) s'insère(nt)</i>	<b>Axe 2 – Processus d'élaboration</b> <i>Caractériser la nature des données utilisées et les méthodes de scénarisation employées</i>	<b>Axe 3 – Contenu des scénarios</b> <i>Qualifier le contenu des scénarios en analysant son niveau d'intégration</i>
<b>Polarité</b>	<b>Scénarios exploratoires</b> (que peut-il advenir ?) <b>vs. décisionnels</b> (comment atteindre un objectif donné ?)	<b>Approche intuitive</b> (reposant surtout sur connaissance qualitative / idées des participants) <b>vs. formelle</b> (reposant sur des outils rationnels et analytiques)	<b>Complexe</b> (scénarios avec réseau imbriqué de relations causales, illustrant des schémas de développement alternatifs basés sur un large nombre d'acteurs, secteurs et échelles temporelles et spatiales étendues) <b>vs. simple</b> (scénarios ayant une couverture plus limitée)
<b>Caractéristiques scénarios</b>	<p><b>Le sujet</b> S'agit-il d'une question de société ? L'étude porte-t-elle sur un secteur ou une région donnée ? Le questionnement est-il propre à un groupement (institutionnel, privé...)?</p> <p>« <b>Le client</b> » Quelle est la finalité de l'étude (réflexion créative, décision stratégique, communication...)? Quel est le point de vue adopté (opérateur industriel, collectivité, décideur public...)? Quelle diffusion est envisagée (interne, restreinte, grand public, spécifique à un événement...)? Qui est impliqué dans le design des scénarios ?</p> <p><b>Le point de vue</b> S'agit-il d'un scénario de type forecasting (dessiner des futurs à partir d'un point de départ contemporain, donc plutôt exploratoire) ? ou d'un scénario de type backcasting (identifier des chemins compatibles avec un futur défini au départ, donc plutôt normatif) ? S'agit-t-il de dessiner un futur « ponctuel » sans envisager de trajectoire permettant de l'atteindre (point figé / « photographie » d'une année future donnée) ?</p> <p><b>Les échelles</b> Quelle est l'échelle temporelle retenue, et avec quelle granularité ? Quelle est l'échelle spatiale retenue, et avec quelle granularité ?</p>	<p><b>Nature des données : part quantitatif / qualitatif</b> Données qualitatives = fondées sur jugements et dires d'experts (modèles mentaux) Données quantitatives = fondées sur l'utilisation d'outils quantitatifs / modèles formels : simulation, forecasting, analyses systèmes etc. La quantification peut intervenir à divers stades de la démarche : pour trier, quantifier et harmoniser la connaissance fournie par des experts (approche dans ce cas mixte intuitive &amp; formelle) ou encore pour construire des trajectoires de long terme à l'aide d'outils dédiés (modèles fondés sur théorie économique).</p> <p><b>Type de modèle et usage</b> Un ou plusieurs modèles ont-ils été utilisés pour générer le(s) scénario(s) ? Si oui, de quel(s) type(s) :  <ul style="list-style-type: none"> <li>modèles de simulation, d'optimisation (sur quel(s) critère(s) ?) ou approche récursive ?</li> <li>modèles <i>top-down</i> (modèles macro-économétriques, modèles d'équilibre général calculable, modèles d'équilibre général ultra-rationnels), <i>bottom-up</i> (équilibre partiel avec couverture sectorielle à préciser) ou <i>hybride</i> (modèle intégré économie-énergie-environnement par ex.)</li> </ul> </p> <p><b>Organisation et moyens</b> Collecte des données : démarche participative (groupes d'experts ou enquête par ex.) ou centralisée (recherche bibliographique réalisée par un ou nombre restreint d'auteurs) ? Moyens : Ressources extensives (moyens conséquents dédiés à l'étude) vs. limitées ?</p> <p><b>Orientations/contraintes liées au contexte d'étude</b> Y-a-t-il un/plusieurs « parti pris » influençant les choix de données (par ex. : division par 4 des émissions de GES à horizon 2050, scénario 100% ENR, prise en compte des objectifs actés dans les politiques énergie-climat nationales ou européennes etc.) ?</p>	<p><b>La dimension temporelle</b> S'agit-il d'une trajectoire ou d'un point figé dans le futur ? Quel est le niveau de détail infra-annuel du scénario ? Pour les modèles quantitatifs : nature des anticipations des agents ? taux d'actualisation retenu ?</p> <p><b>La dimension spatiale</b> S'agit-il d'un scénario régional, national, multi-national, et avec quel niveau de désagrégation ? Le niveau de détail spatial est-il construit par imbrication dans une échelle plus large ? Ce choix est-il compatible avec les phénomènes étudiés ?</p> <p><b>La dimension sectorielle</b> L'étude porte-t-elle sur un ou plusieurs secteurs ? Comment sont-ils interconnectés ? Les secteurs d'intérêts sont-ils décrits de façon cohérente par rapport à leur importance dans l'étude ?</p> <p><b>Nature des variables et conditions aux limites</b> Les variables du scénario font-elles partie du même champ (p.ex. hypothèses sur technologies) ou sont-elles hétérogènes (économie, démographie, technologies etc.) ? Peut-on identifier la présence d'hypothèses structurantes aux frontières du scénario (juridiques, comportementales...)?</p> <p><b>Dynamique et niveau de déviation</b> Les scénarios extrapolent-ils des tendances passées, ou illustrent-ils des scénarios contrastés, éventuellement comportant des changements rapides voire des bifurcations ?</p> <p><b>Incertitude dans les modèles quantitatifs</b> L'incertitude est-elle prise en compte de façon exogène dans les scénarios (analyse de sensibilité, simulation de Monte-Carlo...)? Les outils mis en œuvre incluent-ils un traitement endogène de l'incertitude (programmation stochastique, robuste...)?</p>

1. OBJECTIFS ET CHAMPS DE L'ETUDE			
L'ensemble des étapes ci-dessous <b>doivent</b> être renseignées par le praticien afin d'assurer la transparence nécessaire à l'interprétation des résultats obtenus. A défaut, lorsque le praticien ne sait pas répondre à une question, il doit à minima préciser qu'il n'a pas les compétences ou le temps nécessaire pour traiter cette question et que cela sera pris en compte dans l'interprétation.			
<b>1.1 Objectifs :</b>			
Contexte de l'étude ? Le décideur / commanditaire et le praticien de l'ACV sont-ils la même personne ? Le décideur souhaite-t-il restreindre le champ à un ou plusieurs scénarios tendanciels ou souhaite-t-il voir étudier des scénarios intégrant des déviations ou ruptures par rapport aux tendances passées (si oui, les identifier au préalable)?			
Le contexte d'étude est-il marqué par un parti pris explicite ou sous-jacent (choix politique ou stratégique voire idéologique) ? Cherche-t-on à calculer le moyen d'atteindre un objectif prédéfini ou explore-t-on le domaine des possibles ? Dans le cas de ruptures et déviations, quels sont les <i>drivers</i> qui les génèrent (par ex. politiques climatique / technologique / industrielle, évolutions de comportements drastiques, etc.) ? Quelle est la typologie de l'étude (a, b ou c ?)			
<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>c.</i>	
ACV d'un produit ou d'une gamme de produits existant à un horizon temporel éloigné	ACV d'un produit extrapolé du laboratoire au déploiement commercial	ACV d'un secteur entier (par ex. transport, énergie) dans un contexte prospectif	
<b>1.2 Nature des changements</b>			
La question porte-t-elle sur une décision ou un changement ?			
<i>Oui</i>			<i>Non</i>
Le changement est-il interne ou s'étend-il au-delà du système étudié ?			Section 1.3
<i>Interne</i> Section 1.3	<i>Etendu</i> ACV conséquentielle (SCORELCA 2012-01)		
<b>1.3 Horizon temporel</b>			
<i>Court terme</i>		<i>Moyen terme</i>	<i>Long terme</i>
Les caractéristiques du système peuvent facilement être connues, par une extrapolation des données existantes. Les politiques ayant un impact sur le système sont connues			Les données sont très incertaines et l'extrapolation n'est pas directe. Le système risque de subir des ruptures technologiques ou des changements radicaux de comportements. Les orientations futures (politiques économique / industrielle / fiscale / énergétique etc.) sont vagues ou inconnues
<b>1.4 Produit et système de produit</b>			
<i>Un seul produit</i>		<i>Système de produits</i>	
Données techniques principalement		Périmètre étudié plus large + données économiques et politiques, relatives à la répartition des différents produits	
<b>1.5 Unité fonctionnelle (UF)</b>			
Validité de l'UF dans le temps ? Si étude de long terme, faut-il scénariser l'UF ?			
Quel est la vision temporelle de l'UF ?			
<i>Photographie à un horizon temporel donné</i>		<i>Evolution entre maintenant et un horizon temporel donné</i>	
<b>1.6 Périmètre de l'étude (premier VS arrière-plan)</b>			
Définition du périmètre et première identification des données prospectives			
<i>Premier plan</i>		<i>Arrière-plan</i>	
Horizon temporel et dynamique du secteur		Dynamique du secteur	
		<i>&lt; premier plan</i> Laisser le périmètre tel quel	<i>&gt; premier plan</i> Passer au premier-plan
<b>1.7 Choix des impacts environnementaux pour la caractérisation</b>			
Les impacts suivants sont susceptibles d'être moins pertinents au fur et à mesure que l'horizon temporel s'éloigne :			
<i>Rareté</i> ex. CML2001 Abiotic Depletion Potential, Water scarcity	<i>Modèle économique</i> ex : ReCiPe ressources, externalités	<i>Domages :</i> ex : impacts endpoint	<i>Normalisé</i> ex : équivalent-européen
<b>1.8 Validité des méthodes d'allocation</b>			
Deux situations sont susceptible d'être problématiques en prospective :			
<i>Coproduit traité comme un déchet à t initial et devenant un produit ayant une valeur économique à l'horizon temporel envisagé</i>		<i>Allocations économiques valables uniquement à t initial</i>	

## 2. INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE : IDENTIFICATION DES PARAMETRES A PROJETER A L'HORIZON TEMPOREL DONNE

Deux méthodes sont possibles

### Sous-ensemble E1

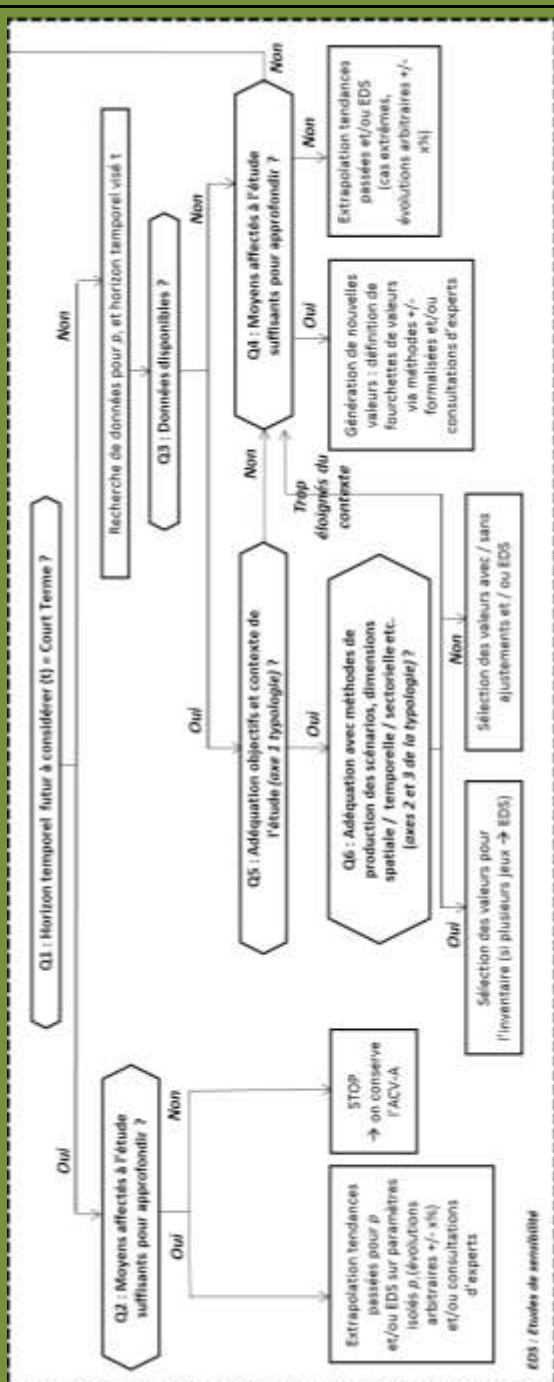
Réaliser une première ACV attributionnelle à t initial et identifier les hotspots (« points chauds » correspondant aux contributions majoritaires dans les impacts évalués) pour chacun des impacts retenus. Retenir les hotspots correspondant à des paramètres susceptibles de varier à l'horizon considéré

### Sous-ensemble E2

Si des scénarios non tendanciels doivent être étudiés, identifier les ruptures et déviations possibles et élargir la recherche de données à des paramètres supplémentaires

## 3. INVENTAIRE DE CYCLE DE VIE : ARBRE METHODOLOGIQUE

L'obtention et le choix des données suit l'arbre méthodologique page suivante :



### Q1 : Horizon temporel de l'étude ?

Court terme  
Q2

Moyen-long terme  
Q3

### Q2 : Moyens affectés à l'étude suffisants pour approfondir ?

insuffisants  
ACV attributionnelle à t initial

suffisants  
1. Extrapolations tendances passées pour p.  
2. Consultation d'experts.  
3. Etudes de sensibilité sur des paramètres isolés p

### Q3 : Données disponibles pour p à l'horizon temporel visé ?

Non  
Q4

Oui  
Q5

### Q4 : Moyens affectés à l'étude suffisants pour approfondir ?

Non  
Extrapolation de tendances passées, études de sensibilité et consultations d'experts.  
Révision des objectifs et du champ de l'étude

Oui  
méthodes formelles (telles que la méthode Delphi)

### Q5 : Adéquation des données avec les objectifs et le contexte de l'étude (axe 1 de la typologie)

Oui  
Q6

Non  
Q4

### Q6 : Adéquation des données avec les méthodes de production des scénarios, dimensions spatiale / temporelle / sectorielle (axes 2 et 3 de la typologie)

Oui  
Utiliser les données

Non  
Les adapter si possible, sinon Q4

4. OBTENTION DES DONNEES		
<b>4.1 Données relatives à l'énergie</b>		
Consulter les études présentées dans la ligne 4.4 puis élargir la recherche (éventuelles mises à jour des études recensées en 4.4 et compléments issus d'autres sources bibliographiques)		
<b>4.2 données relatives aux métaux et matières premières</b>		
Se rendre sur les sites des associations de producteurs et de faire une recherche académique (par ex. via Scopus ou Google Scholar). Par exemple :		
<p style="text-align: center;"><i>Aluminium</i></p> <p>The Aluminum Association (<a href="http://www.aluminum.org">www.aluminum.org</a>), European Aluminium (<a href="http://www.european-aluminium.eu/">www.european-aluminium.eu/</a>), Association Française de l'Aluminium (<a href="http://www.aluminium.fr/industrie/associations/afa">http://www.aluminium.fr/industrie/associations/afa</a>), World Aluminium (<a href="http://www.world-aluminium.org">www.world-aluminium.org</a>), etc.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Acier</i></p> <p>World Steel Association (<a href="https://www.worldsteel.org">https://www.worldsteel.org</a>), Steel Manufacturers Association (<a href="http://steelnet.org/">steelnet.org/</a>), Eurofer (<a href="http://www.eurofer.org/">www.eurofer.org/</a>), etc.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Matières premières minérales</i></p> <p>National Mining Association (<a href="http://nma.org/">http://nma.org/</a>), International Minerals &amp; Mining Association (<a href="http://www.iom3.org/international-mining-minerals-association">http://www.iom3.org/international-mining-minerals-association</a>), International Council on Mining and Metals (<a href="https://www.icmm.com/en-gb">https://www.icmm.com/en-gb</a>), etc</p>
<b>4.3 Extrapolation de données passées</b>		
utiliser les sites institutionnels tels que l'INSEE, Eurostat, Data.gouv.fr, etc.		

## 4.4 Etudes dans le domaine de l'énergie

	Auteur	Pays	Utilisation modèle(s) ?	Scénarios			
				Couverture géographique	Couverture sectorielle	Horizon temporel	Trajectoires ?
ADEME <i>Visions énergétiques 2030 - 2050 de l'ADEME</i>	Institutionnel	France	Non	France	Secteur énergétique : offre et demande	2050	Non
ADEME <i>Mix électrique 100% ENR ?</i>	Institutionnel	France	Oui	France + pays frontaliers	Production, stockage, consommation et échanges électricité	2050	Non
BP <i>BP Energy Outlook</i>	Privé	UK	?	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2035	Oui
ExxonMobil <i>The outlook for Energy : A View to 2040</i>	Privé	US	?	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2040	Oui
RTE <i>Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France</i>	Privé pour institutionnels	France	Oui	Europe de l'Ouest (12)	Production, stockage, consommation et échanges électricité	2030	Non
Agence Nationale de la Coordination de la Recherche pour l'Energie <i>Scénarios de l'ANCRE pour la transition énergétique</i>	Académiques et centres techniques / recherche	France	Non	France	Secteur énergétique : offre et demande	2050	Oui
Enerdata <i>Global Energy Scenarios to 2040 / Understanding our energy futur</i>	Privé	France	Oui	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2040	Oui
AIE <i>World Energy Outlook</i>	Institutionnel	International	Oui	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2040	Oui
Commission Européenne <i>EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050 / Reference scenario 2013</i>	Académiques et centres recherche pour institutionnels	Europe	Oui	Europe des 28	Secteur énergétique : offre et demande	2050	Oui
AIE <i>Energy Technology Perspectives 2015 - Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action</i>	Institutionnel	International	Oui	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2050	Oui
World Energy Council <i>World Energy Scenarios Composing energy futures to 2050</i>	Mixte (alliance)	International	Oui	Monde	Secteur énergétique : offre et demande	2050	Oui
Energy Modelling Forum <i>Publications relatives aux exercices de l'EMF</i>	Académiques essentiellement	International	Oui	Variable selon exercice	Variable selon exercice : Economie globale ou secteur énergétique	2050+	Oui

5. INTERPRETATION			
<b>5.1 Consolidation des données et construction des scénarios</b>			
<p>Cette étape est recommandée, en particulier lorsque les données utilisées sont nombreuses.</p> <p>Plusieurs sources de données ont pu être utilisées durant les étapes précédentes. On s'assurera dans cette étape qu'elles n'entrent pas en contradiction entre elles, par exemple des dires d'experts optimistes avec une étude utilisant des hypothèses plus conservatrices.</p> <p>Dans le cas où plusieurs données sont disponibles pour tout ou partie des paramètres, on tâchera de les construire des scénarios fondés sur des associations cohérentes de ces paramètres. La méthode d'analyse formative des scénarios (cf. section 2.2.2.1 du rapport d'étude) peut aussi être utilisée pour s'assurer de cela.</p>			
<b>5.2 Analyse critique</b>			
<p>Expliciter clairement les hypothèses afin de prendre en compte les limites de l'étude dans la lecture des résultats (transparence)</p>	<p>Comparer la contribution des résultats entre t initial et t final. De grandes disparités doivent faire redoubler de vigilance par rapport aux hypothèses formulées et aux données retenues.</p>	<p>Analyser les résultats en tenant compte de la possible obsolescence de certains indicateurs environnementaux</p>	<p>Utiliser des données externes à l'étude pour juger de la pertinence des données retenues : par ex. hypothèses sur la croissance, sur le prix du pétrole, etc.</p>

### III. Prospective pour l'énergie et les ressources : historique et aperçu des méthodes

L'histoire retient généralement la création, en 1946, de la RAND et de sa constitution en *think tank* indépendant comme le point de départ de la prospective moderne. Toutefois, il semble que les sources de la discipline sont à rechercher beaucoup plus loin dans l'histoire. En effet, avec les premières utopies (*La République* de Platon, *Utopia* de Thomas More, *Thélème* de François de Rabelais, *La nouvelle Atlantide* de Francis Bacon) certains auteurs ont, dans l'histoire, élaboré des constructions du monde bâties sur des réflexions philosophiques, morales, sociologiques ou politiques. Les économistes, et la théorie économique plus généralement, ne sont pas en reste dans la construction de la discipline. La notion de prospective n'apparaît certes pas dans les grands ouvrages de la pensée économique des 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècles, mais les préoccupations de certains économistes (Malthus, Jevons, Marx), la formulation de leurs hypothèses et les conclusions délivrées dessinent les réflexes de la méthodologie prospective, notamment sur la question des ressources naturelles et de leur possible épuisement. La révolution industrielle a certes permis de poser les jalons des questions constituant le cœur de l'activité de la prospective (trajectoires de consommation, épuisement des ressources, approche technico-économique), notamment porté par les considérations liées aux trajectoires de demande de matières premières. Toutefois, elle n'a pas permis de structurer de manière globale une discipline scientifique relative à la prospective. En effet, le processus de révolution industrielle s'est étalé en Europe sur près d'un siècle, ce morcèlement n'encourageant pas la prise en compte d'une problématique globale et/ou géographique commune. Il faudra ainsi attendre l'après deuxième guerre mondiale et un mouvement commun de reconstruction, de besoin de planification et/ou de besoins stratégiques et sectoriels (militaires notamment) pour que la prospective moderne se structure scientifiquement au niveau international. La deuxième guerre mondiale constitue une rupture pour la discipline prospective. Rupture méthodologique tout d'abord puisque la période d'après-guerre va correspondre à une certaine forme de rationalisation de l'activité. Rupture géographique puisque deux foyers de perspectives vont progressivement s'imposer aux Etats-Unis (Rand Corporation, Hudson Institute) et en France (Centre d'Etudes Prospectives, Futuribles International).

D'un point de vue méthodologique, la période 1945-1960 correspond à une forme de rationalisation et de développement d'une discipline scientifique « de construction des futurs » fondée sur des méthodes scientifiques d'élaboration. Cette rationalisation s'effectuera de trois manières : (i) la prévalence des scénarios technologiques, (ii) : la construction de scénarios alternatifs dans la majeure partie des études, (iii) : la professionnalisation de la discipline. La prospective américaine financée en grande partie par le complexe militaire commença ainsi à structurer différentes méthodologies inhérentes à ces évolutions : théorie des jeux, modélisation, matrices d'impacts, méthode Delphi. En parallèle, deux évolutions majeures vont renforcer ces pratiques : le développement et le déploiement de nouvelles technologies

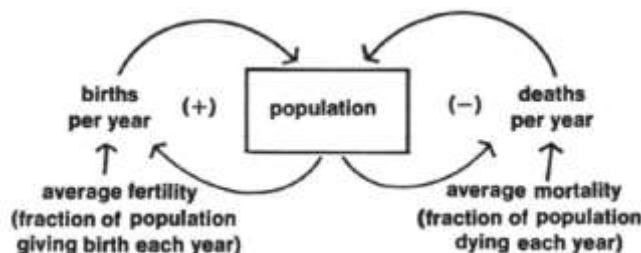
telles que la bombe nucléaire et l'usage massif des pesticides et un certain catastrophisme démographique.

Le deuxième foyer de développement de la prospective se situe en France où deux « familles » de prospectivistes (Gaston Berger, Bertrand et Hélène de Jouvenel) mettent en place leurs propres organisations et leurs propres périodiques. La prospective française est plutôt centrée sur les questions de planification nationale de long terme et, à la différence d'une prospective technologique, la discipline française et plus globalement européenne s'oriente elle vers une vision plus humaniste, utopiste et en rupture avec le passé.

Si les préoccupations environnementales apparaissent dès 1945 aux Etats-Unis en raison notamment des débats sur le nucléaire et sur l'usage des pesticides, ce n'est qu'à la fin des années 1950 et début des années 1960 que s'élèvent en Europe des discours alarmistes sur ces questions. Et dès la fin des années 1960, la préoccupation de l'épuisement des ressources naturelles se généralise dans le débat économique et sociétal international comme en témoigne la conférence de Stockholm en 1972 et la constitution du Club de Rome, véritable catalyseur de la prise de conscience environnementale internationale. Publié en 1972, le rapport du Club de Rome, *The Limits to Growth*, utilisant un modèle de simulation du *Massachusetts Institute of Technology* (M.I.T), expose, pour la première fois, un risque de pénurie mondiale de matières premières sur la base de scénarii à long terme. Les auteurs du rapport ne donnent pas de projections précises pour les différentes matières premières, mais s'alarment d'un possible effondrement du modèle de production et de consommation observé depuis les années d'après-guerre.

Le modèle utilisé dans le rapport *The Limits to Growth* est structuré autour de variables de stocks (investissement en capital, population, ressources naturelles, terre, ratio d'investissement effectif du capital et pollution) et de variables de flux (évolution du standard de vie matériel, ratio de production alimentaire par tête, investissement par tête). La dynamique des systèmes a pour principe de bases d'introduire des boucles dites de rétroaction entre les différentes variables du système, ces effets feedback pouvant être de nature positive, négative ou stabilisatrice.

**Figure 1 : Exemple de boucle de rétroaction sur la population**



Source : Meadows et al. (1972)

Les années 1990 verront apparaître une forme de fragmentation de la discipline de prospective, marquée par une prospective plutôt orientée projet et moins globalisante. Même après plusieurs décennies de structuration, la prospective manque encore cruellement de standardisation. La terminologie anglo-saxonne n'est pas normée et ce que l'on appelle prospective peut se relater à *Futures Studies*, *Futures Research*, *Foresight*, *Futurology*, *Futuring*... Cette absence de vocabulaire commun tient notamment à la multiplicité des background éducatifs des personnes impliquées dans les travaux de prospective : économistes, ingénieurs, mathématiciens, physiciens, sociologues, designers etc.

Temps ancien : réflexion intellectuelle	Prédiction magique, divination, prophétie Utopie
1945-1960 : rationalisation et mise en place des cadres méthodologiques	Prévalence de la prospective technologique aux Etats-Unis Prospective planificatrice et normative en France Construction de scénarios alternatifs de manière systématique Professionnalisation, mise en place d'établissements en France et aux Etats-Unis Diffusion des travaux, écriture d'ouvrages
1970-1980 : structuration internationale et industrialisation de la discipline	Mondialisation des problématiques et de l'activité prospective : environnement, énergie Généralisation de la prospective normative Développement de la prospective stratégique en entreprise et implication marquée des entreprises dans

	cette activité Perspectives managériales de la prospective
1990-2000 : fragmentation de la discipline et monde unipolaire	Prédominance de la prévision Montée des études critiques Fragmentation en différents champs disciplinaires, diminution de la pluridisciplinarité Marginalisation de la discipline
2000- : réunification dans un monde multipolaire et instable	Retour aux préoccupations des années 1970 : énergie et environnement Mondialisation des contraintes et besoin du politique d'évocation des futurs Prospective stratégique et créativité en entreprises Intégration R&D, stratégie, marketing

**Tableau 1 : Phases de structuration de la discipline**

Les éléments historiques évoqués précédemment illustrent comment de nombreux auteurs se sont attachés, depuis toujours, à définir et étudier des futurs possibles. En complément de cette analyse, une autre revue de la littérature a été menée de sorte à recenser et expliciter les différentes pratiques, approches et outils en matière de prospective.

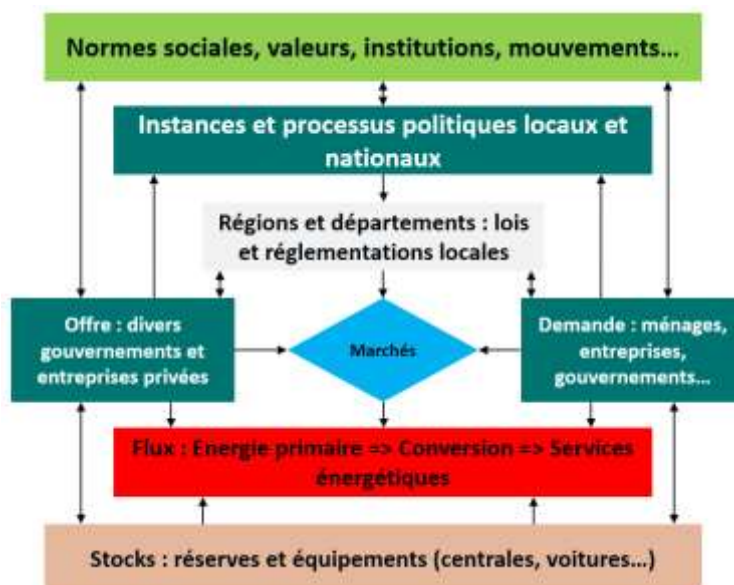
Cette seconde étude détaillée de la bibliographie révèle - au-delà de la confusion entourant la terminologie soulignée précédemment (rappelons qu'il n'existe en effet pas de définition claire, précise et partagée des concepts de prospective ou encore de scénarios) - une grande diversité de méthodes associées à la prospective et de multiples façons de les présenter.

Toutefois, il existe un certain consensus sur la philosophie générale encadrant ces exercices. La prospective est vue comme une discipline fondamentalement transverse qui vise à définir et étudier des futurs possibles afin d'éclairer des décisions et actions. Les praticiens s'accordent sur le fait qu'il « ne s'agit pas de prédire l'émergence d'événements futurs, mais de mettre en lumière les grandes forces qui peuvent amener le futur dans différentes directions ». On distingue deux ensembles de forces qui contribuent à façonner le futur des systèmes socio-économiques :

- les forces du changement : « propulseurs » correspondant à des évolutions techniques (nouvelles technologies, progrès...), économiques (prix, politiques...), sociales (modes de vie, comportements...) qui contribuent à éloigner le système de son état initial ;
- et les forces d'inertie : forces « de rappel » d'ordre techniques (progrès technique limité, coûts élevés ...) , économiques, politiques ou structurelles (bureaucratie, intérêts particuliers..) qui ramènent le système à son état initial.

L'enjeu de la prospective consiste à appréhender les effets cumulés de ces ensembles. Or ces forces constitutives sont d'une part individuellement difficiles à cerner - avec des effets d'autant plus incertains que les futurs sont lointains – et d'autre part de plus en plus complexes dans leurs interactions. Cette complexité croissante et la « non-prédictabilité » des systèmes se situent au cœur de la démarche et justifie le besoin de prospective ainsi que les efforts de structuration méthodologiques associés.

**Figure 2 : Représentation d'un système socio-économique national. Source : Schmalensee (2012)**



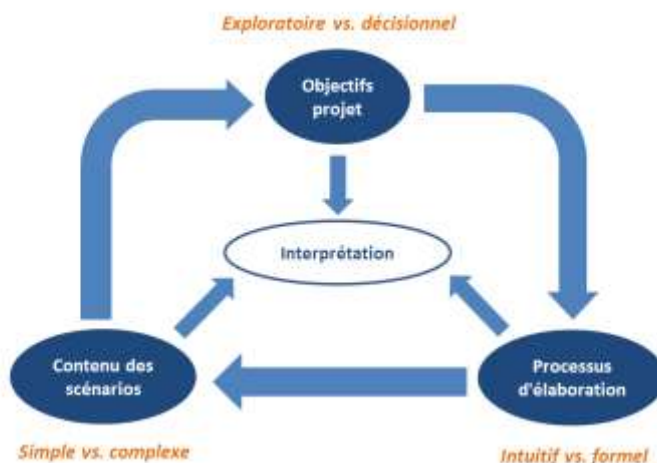
Pour les besoins de l'étude, certaines définitions de la prospective et des scénarios ont été proposées à des fins de clarification. La distinction entre prospective et scénarios pose d'ailleurs encore problème : pour certains les scénarios correspondent à une technique de prospective, pour d'autres ces deux notions se confondent ou se recouvrent partiellement. Pour Mutombo et al. (2007), par exemple, la prospective englobe toutes les techniques et processus de construction de scénarios mais ne s'y résume pas. Dans la suite de l'étude, il a été choisi de se concentrer sur la notion de scénarios car elle occupe une place centrale pour l'énergie et est souvent utilisée lorsque l'on évoque le long terme.

Afin de fournir un cadre pour la compréhension et la comparaison des résultats d'exercices prospectifs, une typologie de scénarios a été développée à partir des éléments les plus consensuels de la littérature - essentiellement repris de van Notten et al. (2003), Börjeson et al. (2006) et Mai et al. (2013). Cette typologie constitue un support permettant de développer une analyse critique en vue d'un usage ultérieur des données disponibles, par exemple dans le cadre d'une ACV prospective.

Rappelons qu'il n'y a pas de présentation univoque des typologies de scénarios. Par rapport à d'autres propositions, l'approche retenue présente les avantages suivants : i) être suffisamment large pour adresser un grand nombre d'études ; ii) expliciter la place de la méthodologie dans le processus de scénarisation ; iii) être suffisamment pragmatique et opérationnelle pour fournir des clés d'entrée pratiques ; iv) être relativement analogue à la pratique ACV, notamment au sens des normes ISO.

Globalement, cette typologie se décline en trois axes principaux, qui recouvrent les étapes principales du développement des scénarios : la définition des objectifs, suivie du processus de construction des scénarios, et enfin de l'élaboration de leur contenu (Figure 2). Cette vision dynamique du processus traduit la forte influence de la définition des objectifs de l'étude (axe 1) sur les choix de méthodes et données d'entrée (axe 2) qui eux-mêmes influent sur le contenu des scénarios (axe 3). Le processus peut également être circulaire si l'étude est récurrente, ou encore si les résultats de l'analyse conduisent à revoir la question posée. Chacun des axes présente une « polarité » et comporte une liste non exhaustive d'éléments structurels correspondant à des caractéristiques des scénarios. Notons que la plupart de ces caractéristiques ne suggère pas de catégorisation binaire, mais plutôt des éléments d'évaluation qualitative, donc en partie subjective.

**Figure 3 : Structure de la typologie de scénarios prospectifs**



Cette typologie offre une grille de lecture relativement fine permettant à un praticien de prendre conscience des choix de données et méthodes auxquels il adhère implicitement en utilisant les résultats d'une étude prospective. Sur cette base, il lui est alors possible d'argumenter ses choix lors de l'établissement d'un inventaire de cycle de vie prospectif (ICV) en sélectionnant la (les) étude(s) lui permettant de satisfaire au mieux une cohérence d'ensemble (cohérence des études entre elles et cohérence des cadres de réalisation de ces études avec contexte d'étude propre à l'ACV). Les principales implications associées à chaque axe sont les suivantes :

- Axe 1 : Les objectifs et contexte propres à l'étude (identité des commanditaires et réalisateurs de l'étude notamment) sont des éléments importants à prendre en compte pour la sélection de données prospectives (mix énergétique par exemple). Les études exploratoires peuvent, du fait de leur ambition de générer la réflexion, produire des scénarios « extrêmes ». Leur plausibilité peut être limitée, ce qui n'altère pas forcément l'intérêt de l'exercice car la portée du message réside dans ses

enseignements qualitatifs. A l'inverse, les scénarios plus décisionnels revêtent en général une dimension plus « opérationnelle ».

- Axe 2 : La (les) méthode(s) utilisée(s) pour générer les scénarios sont des éléments structurants de leur interprétation, et donc de leur potentielle utilisation dans un autre contexte. Les valeurs brutes dérivées de différents scénarios n'ont pas de valeur positive intrinsèque – elles sont essentiellement fausses. Il est donc a priori difficile de discriminer des résultats sur de telles bases. Par contre, le processus de design est un élément constitutif du « cadre anticipatif » du scénario, auquel on adhère en utilisant les résultats associés. Notons que lorsque des études de sensibilité sont nécessaires, il peut être intéressant de se reposer sur des travaux ayant des bases quantitatives plus marquées. Ceux-ci offrent en général une cohérence interne plus élevée.
- Axe 3 : L'analyse menée autour du troisième axe doit permettre de mieux cerner la « valeur d'usage » (i.e. pour l'utilisateur) des scénarios utilisés pour intégrer des données prospectives dans l'ICV. De manière générale, la comparaison des différences entre des scénarios contient plus d'informations que les scénarios absolus. De la même façon qu'un décideur cherchant à identifier la valeur comparative des scénarios qu'on lui présente, le chargé d'étude à la recherche de données doit - en préalable à l'extraction - estimer le potentiel de variation des données d'intérêt en i) identifiant les possibilités avec des scénarios multiples ; ii) utilisant autant que possible l'analyse de sensibilité ; iii) adaptant les outils sollicités aux questions posées ; iv) recourant à des méthodes alternatives, notamment non quantitatives, pour élargir le champ avec des opinions d'experts...

Afin d'illustrer l'usage de la typologie de scénarios, une douzaine d'études prospectives de référence ont été passées au crible de cette grille. Cela a par ailleurs permis de mettre en lumière d'une part la diversité des approches et d'autre part le relatif manque de transparence de certains travaux : il est souvent difficile de relever toute l'information voulue sur le contexte d'étude, les méthodes et les outils utilisés pour produire les scénarios ou encore sur la nature des données d'entrée.

	<b>Axe 1 – Objectifs projet</b> <i>Expliciter la ou les questions posées, et le contexte dans lequel elle(s) s'insère(nt)</i>	<b>Axe 2 – Processus d'élaboration</b> <i>Caractériser la nature des données utilisées et les méthodes de scénarisation employées</i>	<b>Axe 3 – Contenu des scénarios</b> <i>Qualifier le contenu des scénarios en analysant son niveau d'intégration</i>
<b>Polarité</b>	<b>Scénarios exploratoires</b> (que peut-il advenir ?) <b>vs.</b> <b>décisionnels</b> (comment atteindre un objectif donné ?)	<b>Approche intuitive</b> (reposant surtout sur connaissance qualitative / idées des participants) <b>vs.</b> <b>formelle</b> (reposant sur des outils rationnels et analytiques)	<b>Complexe</b> (scénarios avec réseau imbriqué de relations causales, illustrant des schémas de développement alternatifs basés sur un large nombre d'acteurs, secteurs et échelles temporelles et spatiales étendues) <b>vs.</b> <b>simple</b> (scénarios ayant une couverture plus limitée)
<b>Caractéristiques scénarios</b>	<p><b>Le sujet</b> S'agit-il d'une question de société ? L'étude porte-t-elle sur un secteur ou une région donnée ? Le questionnement est-il propre à un groupement (institutionnel, privé...)?</p> <p>« <b>Le client</b> » Quelle est la finalité de l'étude (réflexion créative, décision stratégique, communication...)? Quel est le point de vue adopté (opérateur industriel, collectivité, décideur public...)? Quelle diffusion est envisagée (interne, restreinte, grand public, spécifique à un événement...)? Qui est impliqué dans le design des scénarios ?</p> <p><b>Le point de vue</b> S'agit-il d'un scénario de type forecasting (dessiner des futurs à partir d'un point de départ contemporain, donc plutôt exploratoire) ? ou d'un scénario de type backcasting (identifier des chemins compatibles avec un futur défini au départ, donc plutôt normatif) ? S'agit-il de dessiner un futur « ponctuel » sans envisager de trajectoire permettant de l'atteindre (point figé / « photographie » d'une année future donnée) ?</p> <p><b>Les échelles</b> Quelle est l'échelle temporelle retenue, et avec quelle granularité ? Quelle est l'échelle spatiale retenue, et avec quelle granularité ?</p>	<p><b>Nature des données : part quantitatif / qualitatif</b> Données qualitatives = fondées sur jugements et dires d'experts (modèles mentaux) Données quantitatives = fondées sur l'utilisation d'outils quantitatifs / modèles formels : simulation, forecasting, analyses systèmes etc. La quantification peut intervenir à divers stades de la démarche : pour trier, quantifier et harmoniser la connaissance fournie par des experts (approche dans ce cas mixte intuitive &amp; formelle) ou encore pour construire des trajectoires de long terme à l'aide d'outils dédiés (modèles fondés sur théorie économique).</p> <p><b>Type de modèle et usage</b> Un ou plusieurs modèles ont-ils été utilisés pour générer le(s) scénario(s) ? Si oui, de quel(s) type(s) :  <ul style="list-style-type: none"> <li>• modèles de simulation, d'optimisation (sur quel(s) critère(s) ?) ou approche récursive ?</li> <li>• modèles <i>top-down</i> (modèles macro-économétriques, modèles d'équilibre général calculable, modèles d'équilibre général ultrarationnels), <i>bottom-up</i> (équilibre partiel avec couverture sectorielle à préciser) ou <i>hybride</i> (modèle intégré économie-énergie-environnement par ex.)</li> </ul> </p> <p><b>Organisation et moyens</b> Collecte des données : démarche participative (groupes d'experts ou enquête par ex.) ou centralisée (recherche bibliographique réalisée par un ou nombre restreint d'auteurs) ? Moyens : Ressources extensives (moyens conséquents dédiés à l'étude) vs. limitées ?</p> <p><b>Orientations/contraintes liées au contexte d'étude</b> Y-a-t-il un/plusieurs « parti pris » influençant les choix de données (par ex. : division par 4 des émissions de GES à horizon 2050, scénario 100% ENR, prise en compte des objectifs actés dans les politiques énergie-climat nationales ou européennes etc.) ?</p>	<p><b>La dimension temporelle</b> S'agit-il d'une trajectoire ou d'un point figé dans le futur ? Quel est le niveau de détail infra-annuel du scénario ? Pour les modèles quantitatifs : nature des anticipations des agents ? taux d'actualisation retenu ?</p> <p><b>La dimension spatiale</b> S'agit-il d'un scénario régional, national, multi-national, et avec quel niveau de désagrégation ? Le niveau de détail spatial est-il construit par imbrication dans une échelle plus large ? Ce choix est-il compatible avec les phénomènes étudiés ?</p> <p><b>La dimension sectorielle</b> L'étude porte-t-elle sur un ou plusieurs secteurs ? Comment sont-ils interconnectés ? Les secteurs d'intérêts sont-ils décrits de façon cohérente par rapport à leur importance dans l'étude ?</p> <p><b>Nature des variables et conditions aux limites</b> Les variables du scénario font-elles partie du même champ (p.ex. hypothèses sur technologies) ou sont-elles hétérogènes (économie, démographie, technologies etc.) ? Peut-on identifier la présence d'hypothèses structurantes aux frontières du scénario (juridiques, comportementales...)?</p> <p><b>Dynamique et niveau de déviation</b> Les scénarios extrapolent-ils des tendances passées, ou illustrent-ils des scénarios contrastés, éventuellement comportant des changements rapides voire des bifurcations ?</p> <p><b>Incertitude dans les modèles quantitatifs</b> L'incertitude est-elle prise en compte de façon exogène dans les scénarios (analyse de sensibilité, simulation de Monte-Carlo...)? Les outils mis en œuvre incluent-ils un traitement endogène de l'incertitude (programmation stochastique, robuste...)?</p>

Tableau 2 : Polarité et éléments structurels des 3 axes de la typologie de scénarios proposée

#### IV. ACV prospectives et typologies

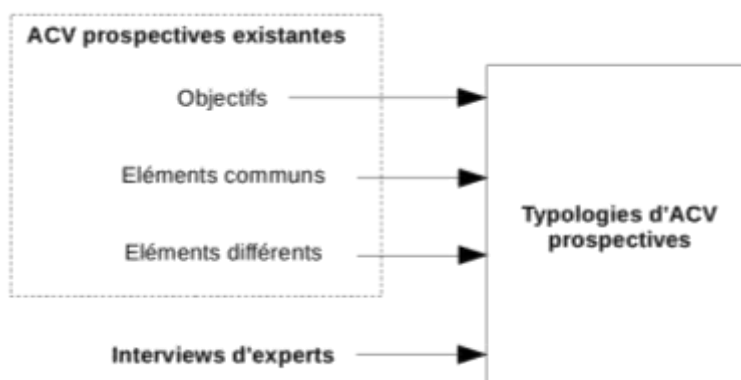
De manière générale, les études prospectives se basent sur une évolution des paramètres technico-économique des procédés de premier plan (c'est-à-dire qui appartiennent directement à l'objet de l'étude), tandis que les données d'arrière-plan n'évoluent pas avec l'horizon temporel. Par ex., si le rendement des panneaux photovoltaïques retenus dans différentes études s'améliore entre l'état initial et l'état futur, l'électricité, les carburants et les matériaux utilisés pour leur fabrication ont des inventaires qui ne varient pas.

Seuls Fukushima et al. (2002) ont proposé une approche permettant de faire varier dynamiquement l'inventaire en fonction du temps via LCML. Néanmoins, du fait de sa complexité de mise en œuvre, notamment l'impossibilité de l'implanter dans les logiciels d'ACV commerciaux les plus utilisés, la méthode proposée n'a pas fait l'objet d'utilisation ultérieure dans la littérature.

Les différentes ACV étudiées sont présentées sur une carte, disponible à l'adresse suivante :

<https://drive.google.com/open?id=1-z9XbmJfzAnNk4YSoSuu2ye-PV4&usp=sharing>

À partir des ACV existantes, différentes typologies d'ACV prospectives ont été envisagées :



**Figure 4 – Typologies d'ACV prospective : Présentation de la méthode**

Basée sur la revue de la littérature et sur les résultats de l'enquête en ligne, les éléments suivants de typologie ont été envisagés :

- Objectifs :
  - ACV d'un produit ou d'une gamme de produits existant à un horizon temporel éloigné ;
  - ACV d'un produit extrapolé du laboratoire au déploiement commercial ;
  - ACV d'un secteur entier (par ex. transport, énergie) associé à des scénarios prospectifs.
- Horizon temporels :
  - 2020 ;
  - 2050 ;
  - 2030 ;
  - Autres
- Méthodologies utilisées :
  - Scénarios existants
  - Littérature et dires d'experts
  - Modélisation ;
- Aspect temporel :
  - « photographie » d'une situation dans le futur ;
  - évolution sur une période de temps donnée.

En outre, l'enquête en ligne réalisée auprès de 62 acteurs de l'ACV et de la prospective a mis en évidence plusieurs aspects relatifs à l'ACV prospective :

- manque de transparence des données et études disponibles ;
- manque de compétence pour utiliser les modèles et analyser les études disponibles ;
- confusion entre ACV conséquentielle et prospective.

## V. Méthodologie

Précisons tout d'abord que la finalité de l'approche proposée n'est pas de préconiser, au gré des questions et besoins, un ou plusieurs jeux de données tirés de la littérature ; littérature si vaste qu'il est impossible de recenser de façon exhaustive les valeurs ou même les références associées. L'objet est ici plutôt d'aider l'utilisateur à préciser son besoin puis à comprendre, caractériser et comparer les données disponibles afin de développer une analyse critique et in fine argumenter au mieux son choix de données prospectives lors de la phase d'inventaire de cycle de vie. Compte tenu de la complexité inhérente à l'étude de systèmes socio-économiques futurs (systèmes multi-problèmes, multi-dimensionnels et multi-échelles), de leur « non-prédictabilité », de l'abondance croissante de scénarios sur l'énergie et les ressources, de la diversité des méthodes sous-jacentes et de la disparité des résultats qui en découlent, réduire a priori la base bibliographique en recommandant un nombre restreint de jeux de données prospectives ne peut faire sens. La sélection d'un sous ensemble de scénarios ne peut se faire qu'au cas par cas, au regard de la question posée et des contextes et objectifs propres à l'étude ACV. La méthodologie exposée dans les paragraphes suivants constitue un cadre pratique visant à supporter un chargé d'étude ACV dans ce travail d'analyse et de tri de l'information disponible.

La démarche proposée se présente sous la forme d'une série de questions suivie d'un arbre décisionnel. Elle se base sur les éléments suivants :

- Les normes ISO 14040-44 d'un point de vue structurel. La méthode suit un déroulement en trois étapes : 1. Définition des objectifs et de la portée de l'étude ; 2. Inventaire de cycle de vie ; 3. Interprétation. Notons que nous ne nous attacherons pas à passer en revue tous les éléments constitutifs de chaque étape au sens ISO 14040-44. Le champ des questions et recommandations est borné aux points de vigilance et spécificités liés à la dimension prospective de l'étude ACV.
- Les typologies de scénarios prospectifs et d'ACV prospectives ;
- L'enquête effectuée auprès des praticiens de l'ACV et de la prospective.

Chaque étape de la méthodologie est, dans la mesure du possible, illustrée par des cas concrets tirés des deux cas d'études didactiques présentés lors de la réunion intermédiaire du 16/09/16. Les intitulés de ces cas d'études sont les suivants :

- ACV d'un véhicule électrique de segment B commercialisé en France en 2030, dans une hypothèse *business as usual* ;
- ACV de la flotte de véhicules particuliers en Europe entre 2016 et 2050.

### Objectifs et cadre de l'étude

#### OBJECTIFS

Comme pour toute étude ACV, les objectifs et le contexte de l'étude doivent être clairement définis à cette étape.

À quelle typologie d'objectifs l'étude répond-elle ?

- (a) ACV d'un produit ou d'une gamme de produits existant à un horizon temporel éloigné ; par ex. ACV des véhicules produits par un constructeur en 2030 ;
- (b) ACV d'un produit extrapolé du laboratoire au déploiement commercial ; par ex. ACV d'une nouvelle technologie de batterie développée en laboratoire ;
- (c) ACV d'un secteur entier (par ex. transport, énergie) dans un contexte prospectif ; par ex. ACV de la mobilité de passagers en France à 2050 ;

Dans quel contexte l'étude s'inscrit-elle ? Le décideur / commanditaire et le praticien de l'ACV sont-ils la même personne ? Le décideur souhaite-t-il restreindre le champ à un ou plusieurs scénarios tendanciels ou souhaite-t-il voir étudier des scénarios intégrant des déviations ou ruptures par rapport aux tendances passées (si oui, les identifier au préalable) ?

Le contexte d'étude est-il marqué par un parti pris explicite ou sous-jacent (choix politique ou stratégique voire idéologique) ? Cherche-t-on à calculer le moyen d'atteindre un objectif prédéfini ou explore-t-on le domaine des possibles ? Dans le cas de ruptures et déviations, quels sont les drivers qui les génèrent (par ex. politiques climatique / technologique / industrielle, évolutions de comportements drastiques, etc.) ?

Cette étape doit être définie de la manière la plus transparente possible car elle conditionne la collecte des données ainsi que la validité et l'interprétation des résultats obtenus.

### **NATURE DES CHANGEMENTS**

La question porte-t-elle sur une décision ou un changement ? Si oui, le changement est-il interne ou s'étend-il au-delà du système étudié ?

Lorsque le changement s'étend en dehors du système étudié, l'ACV n'est plus simplement prospective mais demande de recourir à des méthodes propres à l'ACV conséquentielle.

### **HORIZON TEMPOREL DE L'ETUDE**

Cette étape précise l'horizon temporel de l'étude. On peut regrouper trois catégories : court, moyen et long terme. Ces trois niveaux se définissent plus par le degré de visibilité et d'incertitude sur les données relatives au(x) secteur(s) que par un horizon temporel dans l'absolu. Ainsi, on peut proposer les trois définitions suivantes :

- Court-terme : les caractéristiques du système peuvent facilement être connues, par une extrapolation des données existantes. Les politiques ayant un impact sur le système sont connues ;
- Long terme : les données sont très incertaines et l'extrapolation n'est pas directe. Le système risque de subir des ruptures technologiques ou des changements radicaux de comportements. Les orientations futures (politiques économique / industrielle / fiscale / énergétique etc.) sont vagues ou inconnues ;
- Moyen terme : entre le court terme et le long terme.

L'appartenance à l'une des définitions précédentes dépend :

- des caractéristiques du secteur : durée de vie des équipements et des infrastructures sous-jacentes (bâtiment : plusieurs dizaines d'années, voiture : 15 ans environ, infrastructure de réseau électrique : en place pour une durée indéterminée, centrale nucléaire : 60 ans, téléphone : 1-3 ans etc.), dynamique de la demande (parc automobile stable, demande en équipements électroniques croissante, etc.), progrès technologique (lent pour l'électricité, rapide pour l'électronique), niveau de dépendance aux politiques et normes ;
- du niveau de certitude lié à la visibilité sur les politiques.

### **PRODUIT ET SYSTEME DE PRODUITS**

Cette étape permet de préciser la nature et le volume de données à obtenir. En effet, dans le cas où un seul produit/service est étudié, les données prospectives à obtenir seront principalement de nature technique. Dans le cas où le système étudié regroupe un ensemble de produits ayant des caractéristiques différentes mais répondant à un besoin défini et soumis à différentes contraintes, le périmètre étudié sera plus large et des données économiques et politiques, relatives à la répartition des différents produits, devront être étudiées.

### **UNITE FONCTIONNELLE**

Dans cette étape se pose la question de la validité de l'unité fonctionnelle (UF) dans le temps. En effet, les usages d'un produit sont susceptibles d'évoluer, d'autant plus que l'horizon temporel de l'étude est éloigné. La pertinence de l'UF doit donc être vérifiée. Pour une étude à long terme, l'UF peut être scénarisée, c-à-d que plusieurs UF peuvent être définies en fonction de différents scénarios.

En outre l'UF doit préciser si l'ACV est de type « photographie » à un horizon temporel donné ou si son objet d'étude est une évolution entre maintenant et un horizon temporel donné (trajectoire).

#### **PERIMETRE DE L'ETUDE / PREMIER ET ARRIERE-PLAN**

Le périmètre de l'étude permet de discerner les données dites de « premier plan », pour lesquelles le praticien doit chercher des données, des données d'arrière-plan pour lesquelles le praticien a recours à des données existantes (bases de données telles qu'ecoinvent ou GaBi). Dans une approche prospective, il faut aussi tenir compte des étapes susceptibles de varier dans le temps et pour lesquelles des données prospectives sont nécessaires. Ces données sont liées à l'horizon temporel et à la dynamique du secteur. Ainsi, des données prospectives seront nécessaires lorsque la dynamique du système implique des changements à l'horizon temporel donné.

En outre, des données prospectives peuvent aussi s'avérer nécessaires lorsque la dynamique des systèmes d'arrière-plan est plus rapide que celle du système principal.

#### **CHOIX DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POUR LA CARACTERISATION**

Le choix des impacts environnementaux peut être influencé par la nature prospective de l'étude. En effet, certains impacts peuvent voir leur pertinence diminuer lorsque l'horizon temporel est lointain. Il s'agit en particulier :

- des impacts basés sur un modèle de rareté : CML2001 Abiotic Depletion Potential, Water scarcity ;
- des impacts basés sur des modèles économiques : ReCiPe resources, externalités
- des impacts basés sur des dommages : méthodes endpoints
- des impacts normalisés : européen équivalent

#### **VALIDITE DES METHODES D'ALLOCATION**

Les méthodes et facteurs d'allocation des coproduits employées peuvent s'avérer obsolètes. Deux situations sont possibles :

- Coproduit traité comme un déchet à  $t$  initial et devenant un produit ayant une valeur économique à l'horizon temporel envisagé ;
- Allocations économiques valables uniquement à  $t$  initial.

#### **Inventaire de cycle de vie**

La méthodologie proposée pour la réalisation de l'inventaire de cycle de vie prospectif suit un arbre décisionnel en 3 étapes et 6 questions, présenté sur la figure en page suivante. Les différentes sections qui suivent visent à expliciter les différentes étapes de l'arbre.

#### **ETAPE 1 : IDENTIFICATION DES PARAMETRES A PROJETER A L'HORIZON TEMPOREL CONSIDERE**

Deux méthodes sont proposées pour identifier les paramètres à projeter :

- Réaliser une première ACV attributionnelle à  $t$  initial et identifier les hotspots (« points chauds » correspondant aux contributions majoritaires dans les impacts évalués) pour chacun des impacts retenus. Si ces hotspots correspondent à des paramètres susceptibles de varier à l'horizon considéré, retenir un sous-ensemble  $E1$  de paramètres sensibles  $p$  à faire varier.
- Si des scénarios non tendanciels doivent être étudiés, identifier les ruptures et déviations possibles et élargir la recherche de données à des paramètres supplémentaires (non compris dans  $E1$ ).

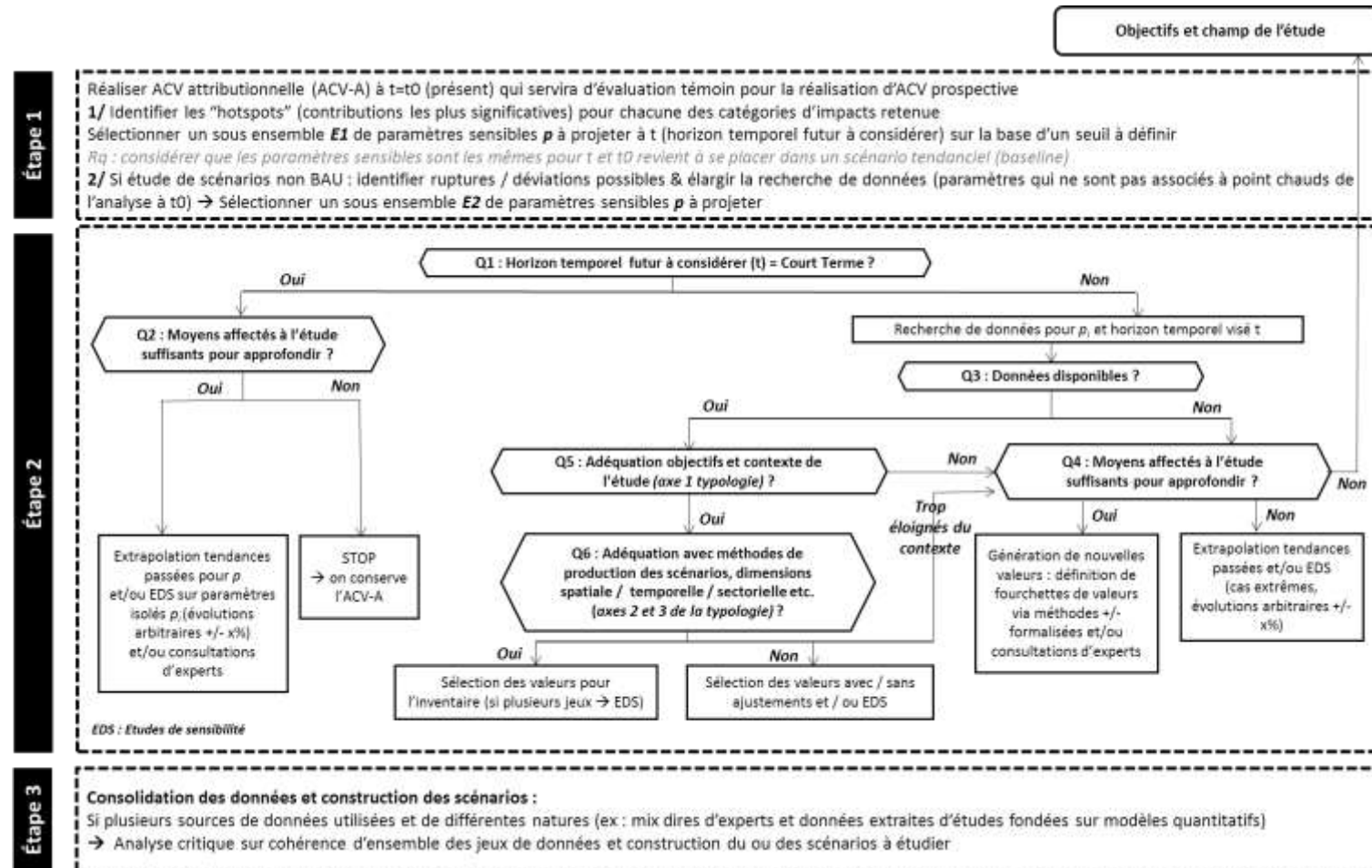


Figure 5 - Arbre décisionnel pour l'élaboration d'ICV prospectifs

#### **Q1 : HORIZON TEMPOREL DE L'ETUDE**

En fonction de l'horizon temporel de l'étude, le praticien se reportera à la question Q2 (court terme) ou à la question Q3 (moyen – long terme).

#### **Q2 : MOYENS AFFECTES A L'ETUDE SUFFISANTS POUR APPROFONDIR**

Si les moyens ne sont pas suffisants, il est recommandé de réaliser uniquement l'ACV attributionnelle à t initial tout en ayant une analyse critique qualitative des résultats obtenus.

Dans le cas où le praticien dispose de temps pour approfondir l'étude, trois approches peuvent être envisagées et combinées :

- Extrapolations tendances passées pour  $p$  ;
- Etudes de sensibilité sur des paramètres isolés  $p_i$ , en prenant des évolutions arbitraires (+/- x %) ;
- Consultation d'experts.

#### **Q3 : DONNEES DISPONIBLES POUR $P_i$ A L'HORIZON TEMPREL VISE**

Si les données ne sont pas disponibles → Q4

Si des données sont disponibles → Q5

#### **Q4 : MOYENS AFFECTES A L'ETUDE SUFFISANTS POUR APPROFONDIR**

Si les moyens affectés à l'étude ne permettent pas d'approfondir la recherche de données, deux possibilités sont proposées :

- Extrapolation de tendances passées, études de sensibilité et consultations d'experts de manière similaire à Q2 :
- Révision des objectifs et du champ de l'étude si les données ne peuvent être estimées ou extrapolées.

Si les moyens affectés à l'étude le permettent, les données peuvent être générées en utilisant des méthodes formelles (telles que la méthode Delphi), et/ou des méthodes plus intuitives (dires d'experts).

#### **Q5 : ADEQUATION DES DONNEES AVEC LES OBJECTIFS ET LE CONTEXTE DE L'ETUDE**

Cette question renvoie à l'axe 1 de la typologie de scénarios prospectifs : les hypothèses sous-jacentes à la donnée correspondent-elles aux objectifs et au contexte du projet ? Si oui, le praticien peut répondre à la question Q6. Dans le cas contraire, le praticien est invité à répondre à la question Q4.

#### **Q6 : ADEQUATION DES DONNEES AVEC LES METHODES DE PRODUCTION DES SCENARIOS, DIMENSIONS SPATIALE / TEMPORELLE / SECTORIELLE**

Cette question renvoie aux axes 2 et 3 de la typologie de scénarios prospectifs. Si plusieurs jeux de données sont adaptés, le praticien peut les utiliser directement et éventuellement réaliser différents scénarios et / ou analyses de sensibilité. Dans le cas où elles ne correspondent pas, soit il est possible de les adapter au contexte en les modifiant, soit le praticien peut se rendre à la question Q4.

#### **Consolidation des données, cohérence et interprétation**

##### **CONSOLIDATION DES DONNEES ET CONSTRUCTION DES SCENARIOS**

Plusieurs sources de données ont pu être utilisées durant les étapes précédentes. On s'assurera dans cette étape qu'elles n'entrent pas en contradiction entre elles, par exemple des dires d'experts optimistes avec une étude utilisant des hypothèses plus conservatrices.

Dans le cas où plusieurs données sont disponibles pour tout ou partie des paramètres, on tâchera de les construire des scénarios fondés sur des associations cohérentes de ces paramètres. La méthode d'analyse formative des scénarios peut aussi être utilisée pour s'assurer de cela.

### **ANALYSE CRITIQUE**

En plus de l'interprétation des résultats similaire à une ACV conventionnelle, l'interprétation d'une ACV prospective doit faire attention aux points suivants :

- Expliciter clairement les hypothèses afin de prendre en compte les limites de l'étude dans la lecture des résultats (transparence) ;
- Comparer la contribution des résultats entre t initial et t final. De grandes disparités doivent faire redoubler de vigilance par rapport aux hypothèses formulées et aux données retenues ;
- Analyser les résultats en tenant compte de la possible obsolescence de certains indicateurs environnementaux ;
- Utiliser des données externes à l'étude pour juger de la pertinence des données retenues : par ex. hypothèses sur la croissance, sur le prix du pétrole, etc.