



PILOTAGE DURABLE DES DECHETS MENAGERS DANS UN CADRE D'ECONOMIE CIRCULAIRE

Jorge Osorio, Daniel Roy, Sophie Hennequin, Charles Stirnweiss, Serge
Winkelmuller

► To cite this version:

Jorge Osorio, Daniel Roy, Sophie Hennequin, Charles Stirnweiss, Serge Winkelmuller. PILOTAGE DURABLE DES DECHETS MENAGERS DANS UN CADRE D'ECONOMIE CIRCULAIRE . MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. hal-01166619

HAL Id: hal-01166619

<https://hal.science/hal-01166619>

Submitted on 23 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PILOTAGE DURABLE DES DECHETS MÉNAGERS DANS UN CADRE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

*Jorge OSORIO, *Daniel ROY, *Sophie HENNEQUIN **Charles STIRNWEISS et
**Serge WINKELMULLER

*ENIM - LGIPM, 1 route d'Ars Laquenexy, 57078 Metz Cedex 3

**Sydeme, 12 Place Robert Schuman, 57600 Forbach

jo.osorio@enim.fr, roy@enim.fr, hennequin@enim.fr, stirnweiss.charles@yahoo.fr, s.winkelmuller@sydeme.fr

RÉSUMÉ : Les pays développés ont réalisé depuis quelques décennies que la prospérité et le développement socio-économique sont basés sur l'utilisation excessive de ressources naturelles pour certaines non renouvelables à l'échelle humaine. De plus, le modèle économique suivi génère de multiples contaminations des sols, de l'air et de l'eau. Par conséquent, la pérennité du système Terre est remise en cause. C'est pourquoi, il est impératif d'agir et ce dès la génération de ces problèmes. Dans ce travail, nous nous intéressons donc à la gestion des déchets et plus particulièrement les déchets ménagers. Dans ce cadre, l'objectif de cet article est de proposer d'une part un modèle permettant d'inscrire la gestion des déchets ménagers dans un cadre d'économie circulaire. Et d'autre part, nous proposons un tableau de bord pour le pilotage du système de gestion des déchets à base d'indicateurs industriels permettant de prendre en compte pleinement la notion de développement durable. Les travaux développés ont été réalisés en collaboration avec le Sydeme (Syndicat Mixte de Transport et de Traitement des Déchets de Moselle-Est).

MOTS-CLÉS : déchets ménagers, développement durable, économie circulaire, tableau de bord, pilotage durable.

1 INTRODUCTION

En 1972, un rapport commandé par le Club de Rome « The limits of growth » est publié [MIT, 1972]. Ce rapport permet d'affirmer, sur la base de simulations numériques réalisées au M.I.T., que le modèle socio-économique (actuellement toujours suivi) engendre des problèmes qui remettent en cause l'équilibre de la vie sur terre. Il devient donc urgent d'aborder les problèmes démographiques, industriels, de pollution, de production alimentaire, de consommation énergétique et de matières premières sous un angle nouveau. L'idée d'un développement durable est née. Le développement durable peut être défini comme [Rapport Brundtland, 1987]: « *Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs* ». Ainsi, nous devons définir de nouveaux modèles afin de pouvoir agir conjointement sur les trois piliers suivants [Boutaud, 2005]:

- économique ;
- environnemental ;
- social / sociétal.

Sur le plan environnemental, atteindre l'objectif d'un développement durable, c'est savoir respecter les principales conditions suivantes :

- l'utilisation, la gestion durable des ressources naturelles (air, eau, sol, vie) et des savoirs humains ;
- le maintien des grands équilibres naturels (climat, diversité biologique, océans, forêts...) ;
- la maîtrise de l'énergie et l'économie des ressources non renouvelables (pétrole, gaz, charbon, minerais...).

Sur le plan économique, le développement durable dépend en particulier :

- d'un développement économique respectueux des milieux naturels d'où proviennent les ressources de base (agriculture et pêche) ;
- d'un changement profond dans les relations économiques internationales afin de promouvoir un commerce équitable et un tourisme solidaire et d'exiger que les entreprises prennent en compte les conditions du développement durable ;
- de l'annulation de la dette des pays pauvres et d'une augmentation des investissements afin qu'ils ne soient plus contraints à opter pour des profits à court terme en contradiction avec leur développement durable et celui de la planète ;
- d'une réflexion sur une décroissance soutenable dans les pays développés au minimum sur la consommation énergétique.

Les facteurs sociaux / sociétaux du développement durable sont l'accès à l'éducation, l'habitat, l'alimentation, les soins... afin de :

- satisfaire les besoins essentiels des populations ;
- combattre l'exclusion sous toutes ses formes (sociale, professionnelle...) ;
- stabiliser la croissance démographique ;
- maîtriser la croissance urbaine et les flux migratoires.

Au carrefour de ces trois aspects, nous retrouvons entre autres la notion de déchets. En effet, pour l'aspect social / sociétal, la production de déchets est inhérente aux tâches réalisées par les humains et une mauvaise gestion de ces déchets pourrait facilement devenir un problème de santé publique. Pour l'aspect environnemental, les

déchets peuvent entraîner une dégradation voire une contamination de l'environnement. Enfin, pour l'aspect économique, le processus de collecte et le traitement des déchets peuvent être considérés comme un processus de production. Un gain peut donc être généré si les déchets sont correctement valorisés [Lavee, 2013].

Pour faire un meilleur usage et valoriser les déchets générés dans les procédés industriels ou ménagers de tous les jours, le fait que plusieurs type de déchets existent impose donc plusieurs méthodologies [Pires, 2011]. Cependant, quelle que soit la méthode utilisée, il faut pouvoir identifier le producteur, ainsi que le circuit que les déchets doivent suivre. Pour arriver à l'identification de ces aspects, il faut modéliser le processus. Nous avons choisi de proposer un modèle de type UML. Ce modèle permet de bien représenter les objets présents dans le système, les relations entre eux, ainsi que les opérations qui caractérisent chaque classe d'objets [Miles, 2006]. Ce modèle est donc particulièrement intéressant dans notre cas d'étude. En effet, pour les déchets ménagers, un grand nombre de personnes ou d'entités sont impliquées. Ces systèmes doivent donc être adaptés aux objectifs spécifiques de la communauté en intégrant les perspectives et les besoins des intervenants et du contexte local (par exemple l'acceptation totale par les autorités locales et la sphère publique de la gestion des déchets, la participation des citoyens, la responsabilisation, la coopération, l'action collective, la communication et l'accessibilité des informations) [Mars, 2013]. Un grand nombre d'éléments doit donc être détaillé avec des interactions multiples et diverses [Mars, 2013]. Une fois le système de gestion des déchets ménagers modélisé, il faut parvenir à identifier les points forts et les points d'amélioration de notre système. En effet, seule cette identification permet de générer une bonne modélisation qui assurera de trouver des améliorations au problème considéré. La démarche retenue est basée sur la mesure de performances et donc la définition d'indicateurs corrélés ensuite au sein d'un tableau de bord qui sera utilisé pour le pilotage de notre système de valorisation des déchets ménagers. En effet, la principale fonction de l'indicateur, en fait, est de montrer les problèmes examinés, d'une manière qui préserve le contenu de l'information de l'analyse. Donc l'utilisation d'indicateurs est considérée comme une étape clé pour guider le processus de prise de décision, car il ne peut y avoir d'indicateurs sans politique et pas de politique sans indicateurs [Scipioni, 2009]. Une fois les indicateurs de performances industrielles et durables définis, un tableau de bord sera proposé. En effet, le tableau de bord est un outil qui permet à l'entreprise d'exprimer les objectifs et les actions pour répondre à sa stratégie [Zurbrugg, 2012]. Il permet d'administrer l'entreprise en allant au-delà du simple point de vue financier que les gestionnaires ont tendance à mettre en avant pour évaluer les progrès d'une société. Le tableau de bord que nous proposons devra s'intéresser également aux questions humaines qui amènent à ces résultats, afin que les organisations se concentrent sur l'avenir et agissent dans leur meilleur intérêt à

long terme ainsi que sur l'aspect environnemental. Notre tableau de bord devra permettre donc d'équilibrer la perspective financière avec les perspectives du client, du processus, et des employés [Zurbrugg, 2012] mais également de la « nature », élément qui est plus rarement considéré.

Le plan de cet article est le suivant. Dans la section 2, nous présentons la notion de déchets ainsi que les méthodes qui peuvent être déployées pour traiter et valoriser les déchets. La section 3 présente le modèle du système de pilotage des déchets ménagers étudié, modèle défini à partir d'un diagramme UML. Notre diagramme permet de plus de mettre en évidence que le système de pilotage des déchets ménagers s'inscrit clairement dans un contexte d'économie circulaire. Dans la section 4, les indicateurs que nous avons définis sont présentés avec mise en œuvre de la notion de pilotage durable. Ces indicateurs sont ensuite agrégés dans un tableau de bord afin de parvenir à un pilotage durable des déchets ménagers. Nous finissons avec une conclusion et des perspectives dans la section 5.

2 DÉCHETS MÉNAGERS

2.1 Notion de déchets

Les déchets sont toutes les matières produites par les différentes activités de consommation et de production, sans avoir atteint une valeur économique et qui au contraire représentent un coût. La génération de ces déchets est perçue comme l'un des problèmes environnementaux les plus graves dans le monde. Cependant, les déchets continuent d'augmenter pour des raisons différentes, comme la croissance de la population, du niveau de vie et des modes de consommation non viables. De plus, une mauvaise gestion des déchets aggrave très fortement la situation [Lavee, 2013]. C'est pourquoi, la gestion des déchets est un défi urbain [Uyara, 2013]. Cette gestion peut impliquer des traitements différents selon le type de déchets, puisque l'idée est de profiter de la meilleure option possible pour obtenir le plus grand bénéfice selon le cas. Les déchets peuvent être classés en fonction de leur composition et par origine [Mosler, 2006]. Selon leur composition, on retrouve :

- les déchets organiques : tous les déchets d'origine biologique ou organiques, par exemple, les feuilles, les branches et les débris de la fabrication d'aliments à la maison.
- les déchets inorganiques : tous les déchets sans caractère industriel biologique ou tout autre procédé artificiel, par exemple, les matières plastiques et les tissus synthétiques.
- les déchets mixtes : se réfère à tous les résidus de déchets organiques et inorganiques mélangés, ce mélange est généralement généré lorsque les deux types de déchets se retrouvent dans le même contenant.
- les déchets dangereux : tout déchet, qu'il soit d'origine biologique ou non, pour lequel il

existe un danger potentiel, et doivent donc être traités d'une manière spéciale, par exemple, des fournitures médicales infectieuses, les déchets radioactifs, les acides et les produits chimiques corrosifs, entre autres.

Et en fonction de leur origine, on retrouve :

- les déchets ménagers : les déchets issus des ménages.
- les déchets urbains : pour les stocks des parcs et déchetteries.
- les déchets industriels : son origine est le résultat de la fabrication d'un produit ou service ou de la transformation de la matière première.
- les déchets commerciaux : sont des déchets organiques et des emballages dans les bureaux ou les magasins dont une partie peut être considérée comme des déchets ménagers assimilés.
- les déchets hospitaliers : peuvent être organiques ou inorganiques et ils sont généralement classés comme des déchets dangereux.
- Les déchets agricoles, le plus souvent organiques.

Dans cet article, nous limiterons notre étude aux déchets ménagers.

Depuis toujours, pour la gestion des déchets, la principale idée retenue est de traiter ceux-ci comme une ressource à exploiter, plutôt que simplement comme un problème à éliminer. Le résultat principal permet ainsi de poursuivre l'effort pour réduire les effets nocifs pour la santé humaine et l'environnement et pour récupérer ce qui est récupérable. Parmi toutes les solutions possibles, une démarche très efficace est de trier ceux-ci à la source. Cette idée de séparation à la source est issue de la gestion des déchets solides municipaux, qui sont considérés comme un moyen efficace de promouvoir l'amélioration du recyclage et la réduction des dommages environnementaux [Mosler, 2006].

La séparation à la source des déchets solides municipaux se réfère au processus de séparation des déchets en plusieurs catégories en fonction de leurs caractéristiques, et ce avant le traitement ultérieur. Au cours des dernières années, de nombreux pays ont mis en œuvre avec succès les plans de séparation à la source dans leurs systèmes de gestion des déchets. En général, ces systèmes de séparation impliquent des coûts d'investissement plus élevés par rapport à d'autres systèmes de gestion des déchets dus : aux travailleurs supplémentaires nécessaires, aux ajustements de l'infrastructure, aux nouveaux équipements et véhicules de collecte, aux installations de traitement biologie-mécanique et aux sensibilisations du public, entre autres [Lavee, 2013]. Le tri à la source des déchets solides nécessite un système complexe qui comprend l'achat de matériels de capture supplémentaires, ainsi que des activités de promotion pour attirer l'opinion publique. Cependant, il est important de souligner que, selon une étude menée en Israël, les avantages de la séparation des déchets organiques à la source l'emportent sur les coûts environnementaux associés à ce processus

[Lavee, 2013]. D'autant plus, il est bon de rappeler qu'en Europe 35% de la masse des déchets ménagers sont des déchets biologiquement valorisables.

Une fois les déchets triés, un traitement peut être mis en œuvre.

2.2 Traitement

Pour le traitement des déchets, il existe plusieurs procédures possibles. Toutes ces procédures suivent la philosophie du développement durable et également du concept d'économie circulaire. L'économie circulaire est définie comme : « *Circular economy changes the traditional one-way linear economic model of "resource – product – waste" into feedback circular economy mode of "resource – product – waste – renewable resource", which conforms to the concept of sustainable development, utilizes resource and protects environment more effectively so as to gain maximal economic and social benefits with minimal resource consumption and environment cost.* » [Yi, 2011]. Par conséquent, l'économie circulaire est essentiellement une économie écologique, qui nécessite des activités économiques humaines en accord avec le principe de : Réduire, Réutiliser et Recycler, c'est la raison pour laquelle elle est connue comme le principe des 3R [Ying, 2012].

Ce concept renvoie à des stratégies de gestion des déchets qui cherchent à devenir plus respectueuses de l'environnement et à donner spécifiquement priorité à la réduction du volume de déchets générés [Li, 2011] :

- Réduire : mettre en œuvre des mesures pour réduire la production d'objets sensibles pouvant devenir des déchets.
- Réutiliser : développer des actions de réutilisation d'un produit particulier, afin de lui donner une seconde vie soit avec la même utilisation soit avec une autre, selon le cas.
- Recycler : transformer des matières ou déchets en nouveaux produits, en cherchant ainsi à éviter la désuétude des éléments potentiellement utiles et de réduire la consommation de nouvelles matières premières et d'énergie.

Un des aspects potentiellement les plus importants du recyclage, est que, grâce à sa mise en œuvre, il est possible de réduire la pollution de l'air qui est générée à partir de l'incinération ; il est également possible de réduire la contamination de l'eau, qui est générée dans les décharges. Il s'agit de prendre les déchets de divers procédés et de les convertir en matériaux réutilisables pour d'autres activités.

Ainsi, la gestion des déchets comprend diverses étapes pour l'élimination de la matière. Les différents processus implémentés forment ainsi une chaîne où chaque maillon cherche à centrer ses efforts afin d'améliorer l'ensemble du processus [Yi, 2011]. En fonction de la nature des déchets et de la zone géographique, le processus peut continuer avec un traitement spécifique de façon à s'assurer que le traitement soit correct pour arriver vers un processus où les déchets sont utilisés de manière

optimale. Ce traitement peut être de réduire leur risque, de récupérer les matières pour le recyclage, de produire de l'énergie et/ou de réduire le volume pour avoir une disposition plus efficace [Pires, 2011]. Cependant, il est à noter que les méthodes de collecte et de traitement varient considérablement entre les différents pays et régions.

Une fois les déchets collectés, l'étape de valorisation peut être mise en œuvre.

2.3 Valorisation

Nous pouvons dire qu'il existe plusieurs techniques de valorisation des déchets et chacune dépend de l'objectif à atteindre. Comme nous l'avons vu, les déchets peuvent être envoyés aux stations d'incinération, vers des décharges de type enfouissement ou à l'air libre, vers des usines de recyclage ou des centres de traitement biologique-mécanique, soit sur ordures brutes soit sur ordures triées à la source, avec valorisation de type aérobie ou anaérobie. Chacune de ses méthodes présente un traitement et une valorisation des déchets tout à fait différents. Pour les deux premiers cas, les installations d'incinération et les décharges, ce sont des méthodes dont l'utilisation a diminué et ils ne représentent pas une utilisation très efficace des déchets. De plus, dans ces processus, un impact négatif sur l'environnement est généré (forte pollution par gaz à effet de serre, ainsi que contamination du sol et de l'eau) [Lavee, 2013].

Le cas des centres de traitement biomécanique est le problème le plus intéressant à résoudre et il s'inscrit pleinement dans un contexte d'économie circulaire. C'est la raison pour laquelle nous nous concentrons en particulier sur son étude dans cet article.

Dans la section suivante, nous présentons un modèle à base d'un diagramme UML d'un système de traitement et valorisation des déchets ménagers, système physique déjà existant, le Sydeme (Syndicat Mixte de Transport et de Traitement des Déchets de Moselle-Est).

3 MODÉLISATION (UML)

UML, ou langage de modélisation unifié, est un langage graphique pour visualiser, spécifier, construire et documenter un système. Il est important de noter qu'UML est un langage de modélisation permettant de spécifier ou décrire des méthodes ou procédés. Il permet donc de définir un système, d'en détailler les objets, de les documenter et de les construire. UML inclut plusieurs types de diagrammes, qui montrent différents aspects des entités représentées. Comme le modèle des classes ou le modèle d'interaction.

Le modèle des classes représente les objets présents dans le système, les relations entre eux, ainsi que les opérations qui caractérisent chaque classe d'objets. Les classes sont un ensemble de fonctions et d'attributs qui sont liés. Une classe décrit le comportement et le type d'un en-

semble d'objets. Les relations entre les classes sont l'héritage, l'association, l'agrégation et la composition.

Le modèle d'interaction est un modèle pour représenter la dynamique des objets. Il utilise le diagramme de séquence parce que ce diagramme montre l'interaction d'un ensemble d'objets dans une application au cours du temps.

Le diagramme UML des classes pour le Sydeme est donné en Annexe 1. Le modèle que nous proposons a la particularité de représenter toutes les parties prenantes, la « nature » y compris. En effet, l'idée est de pouvoir mettre en évidence le fait que le système physique étudié, le Sydeme, permet d'intégrer pleinement tous les aspects liés à la collecte, au traitement et à la valorisation des déchets ménagers dans un cadre d'économie circulaire. Les déchets sont ramassés chez le producteur et transmis aux centres de transfert, pour être ensuite envoyés vers les sites de tri, où ils sont triés pour être dirigés soit dans le site Méthavalor, soit dans les usines de déchets de type non biodéchets. Comme le Sydeme travaille dans un contexte d'économie circulaire, il fabrique également des sacs de tri avec les déchets recyclables qui arrivent d'une de ces usines et ces sacs sont par la suite distribués gratuitement aux usagers du Sydeme. De plus, au niveau du site Méthavalor, des produits sont générés, comme des engrais, puis revendus à des clients. Par conséquent, nous sommes encore dans le cadre d'une économie circulaire, car les déchets sont valorisés au maximum afin de réduire leurs impacts sur la nature et réutilisés dans l'agriculture afin d'obtenir l'alimentation qui a son tour redeviendra en partie un biodéchet. Un troisième cycle d'économie circulaire apparaît clairement, avec le biogaz qui est produit par Méthavalor et est revendu à GNVERT. Une partie de ce biogaz est utilisée par le Sydeme dans ses camions de collecte des déchets.

Le diagramme des classes est une première approche mais il faut également connaître les interactions dans le temps, c'est à dire le modèle d'interaction entre les entités. Dans ce tableau, les objets considérés sont distribués horizontalement, les messages sont représentés par ordre chronologique et des flèches indiquant le flux d'événements sont tirées du haut du diagramme vers le bas (voir Annexe 2).

Dans la figure donnée en Annexe 2, la séquence des interactions entre les entités est donnée. La première étape du processus est la demande de collecte des biodéchets. La deuxième étape correspond à la formation de l'usager par rapport au tri. Ensuite, Méthavalor prépare la logistique pour la collecte et le triage des déchets (dans les sites de tri). Puis, les biodéchets sont ramenés au site Méthavalor afin de pouvoir commencer le processus de méthanisation. Ce processus donne des produits qui sont vendus aux clients, certains pouvant être utilisés dans la nature pour produire de la nourriture. La nourriture peut être consommée par les usagers du site Méthavalor produisant ainsi des biodéchets et le processus redémarre encore une fois.

Dans le processus de modélisation d'une activité ou d'une entreprise, une vaste connaissance des divers aspects tels que les différents acteurs impliqués, les interactions entre eux, les flux d'informations propres à ces relations, ainsi que le niveau de décision hiérarchique est nécessaire. En effet, seule cette connaissance, permet de générer une bonne modélisation qui permettra de trouver des améliorations au problème considéré.

Le principal avantage de notre modèle est la capacité à faire face à des problèmes multi dimensionnels et à gérer des informations de nature différente, incomplètes ou incertaines tout en intégrant pleinement la notion de développement durable. Cependant, la visualisation des différents liens / interactions entre les acteurs ne permet pas toujours de bien identifier les leviers d'amélioration. En effet, les résultats obtenus avec ces modèles doivent être mesurés et analysés pour déterminer s'ils sont positifs ou non au niveau de la performance. Il faut donc connaître les impacts que les processus développés et les acteurs ont sur eux-mêmes. Ceci peut se faire à l'aide d'indicateurs agrégés dans un tableau de bord présenté dans la section suivante [Renaud, 2007].

4 INDICATEURS ET TABLEAU DE BORD

L'objectif principal des technologies et des politiques de gestion des déchets est de réduire les impacts néfastes sur l'environnement, en particulier ceux relatifs à la consommation d'énergie et au changement climatique. Protéger la santé humaine et l'environnement en réduisant les répercussions négatives des déchets est également essentiel ainsi que de trouver des réutilisations bénéfiques pour ceux-ci.

4.1 Indicateurs de durabilité

L'indicateur le plus commun pour mesurer l'efficacité environnementale des systèmes de traitement des déchets est le taux de recyclage. C'est parce que la réglementation sur les déchets présente souvent des objectifs quantitatifs pour le recyclage de certains déchets. Cependant, l'utilisation de taux de recyclage a été remise en question récemment et un passage à différentes méthodes d'évaluation du système a été suggéré [Greene, 2014]. Il faut souligner que, même si le recyclage de nombreux matériaux est préférable, le taux de recyclage n'est pas une mesure appropriée de la viabilité du système de traitement des déchets et de ses avantages pour l'environnement. De plus, bien que le recyclage soit une partie importante des politiques durables, le recyclage n'est pas suffisant pour assurer qu'un système soit durable. En effet, le taux de recyclage ne reflète pas les différents impacts environnementaux dans la gestion des déchets non recyclables selon les technologies utilisées, telles que la mise en décharge ou l'incinération des déchets avec une dépense importante d'énergie [Greene, 2014].

La reconnaissance du fait que les taux de recyclage peuvent ne pas convenir pour les évaluations de prestations environnementales, a conduit à l'examen d'autres indica-

teurs possibles qui peuvent être utilisés. La définition d'indicateurs de durabilité efficaces est un objectif complexe, en raison de la complexité des phénomènes mis en jeu et de la difficulté de les intégrer en une seule mesure [Scipioni, 2009]. En effet, diverses méthodes et processus peuvent être impliqués dans la gestion de la stratégie de l'organisation. Afin de faciliter la prise de décision, il est plus simple de se définir un tableau de bord qu'une somme d'indicateurs pouvant être parfois contradictoires.

4.2 Tableau de bord proposé

Le tableau de bord permet d'avoir une vision globale de l'entreprise. Il fait le lien entre les trois niveaux dans le système (stratégique, tactique et opérationnel) [Renaud, 2009]. Ce lien est faisable avec les interactions entre les 4 axes qui constituent un tableau de bord : finance, client, processus internes et apprentissage organisationnel [Mendes, 2012]. Ainsi, un tableau de bord est généralement un outil plutôt axé sur les performances financières, organisationnelles et industrielles. L'aspect environnemental est plus rarement pris en compte, même si il existe des indicateurs environnementaux regroupés au sein d'un tableau de bord environnemental, comme les Indicateurs de Performance du Management environnemental (IPM - par exemple le nombre d'heures de formation aux problématiques environnementales par employé), les Indicateurs de Performance Environnementale (IPE - par exemple, la quantité de déchets par produit fabriqué), ou les Indicateurs de Condition Environnementale (ICE - par exemple les kilos de CO₂ émis par heure de travail) [Zurbrugg, 2012].

Afin d'être un outil efficace pouvant soutenir le développement local, l'évaluation de la durabilité faite par le tableau de bord devrait être basée sur des indicateurs sélectionnés au niveau local, mais fournissant une vue d'ensemble de la situation [Scipioni, 2009].

La difficulté de construire des indicateurs en mesure de faire face à la tridimensionnalité du développement durable (environnemental, sociétal et économique), associe de nombreuses expériences de mesure au niveau local. Le tableau de bord peut fonctionner en conjonction avec d'autres solutions techniques, en évitant l'utilisation de plusieurs méthodes distinctes, la dispersion des efforts et des ressources, fourni ainsi une base de gestion de la performance globale et intégrée [Mendes, 2012].

Le tableau de bord que nous proposons possède explicitement les deux axes du développement durable en plus des axes clients et processus internes (l'aspect économique étant déjà existant dans un tableau de bord classique), à savoir : l'axe environnemental et l'axe social / sociétal. Cela permet aussi de bien mettre en évidence le contexte d'économie circulaire dans lequel le Sydeme se situe (Tableau 1). Il est à noter que tous les indicateurs initiaux non agrégés du tableau de bord proposé ne sont pas détaillés dans cet article pour en simplifier la présentation.

Perspectives	Poids	Objectifs
Clients	20%	Connaitre ses clients
		Connaitre le marché
Processus internes	30%	Connaitre le cycle de vie des déchets
		Analyse de la communication
		Evaluations des performances
		Optimiser les ressources
		Minimiser les risques
		Développer des services / projets
Economie	20%	Mesurer la performance financière
		Optimiser l'amortissement
		Analyse de solvabilité
Société	15%	Analyse de la fréquentation
		Développer des compétences
		Connaitre ses collaborateurs
		Identifier l'impact local
		Etude de l'impact de la sensibilisation de la population sur les déchets
Environnement	15%	Analyse de l'environnement

Tableau 1. Tableau de bord proposé (simplifié)

Ainsi, dans l'axe « clients », l'objectif, classique, est de bien connaître les clients, leurs besoins, leurs caractéristiques et leur satisfaction par rapport au produit(s) / service(s) offert(s). Pour l'axe « processus internes », il faut agir sur l'optimisation du cycle de vie des déchets, la communication de l'entreprise avec l'extérieur mais également en interne. Bien sûr, il faut évaluer les performances industrielles, optimiser les ressources, identifier et minimiser les risques et développer de nouveaux produits / services / projets.

Les trois piliers du développement durable sont représentés dans les axes suivant : l'axe « économique », où l'objectif est de mesurer la performance financière, l'amortissement et la solvabilité. Le deuxième axe, l'axe « environnemental », permettra de faire une analyse des impacts sur l'environnement et la nature. Finalement, l'axe « social / sociétal » considère tous les collaborateurs internes au système en considérant par exemple le taux d'absentéisme et le développement de leurs compétences. En parallèle, il faut également connaître l'impact au niveau local, comme par exemple la localisation des fournisseurs et la sensibilisation de la population à la gestion des déchets.

Ce tableau de bord permettra de pouvoir apprécier facilement l'état du système par rapport à ces différents

aspects et donc de l'améliorer par la suite en identifiant les points faibles sur lesquels on pourra définir les possibles actions à mener.

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons proposé un modèle basé sur le langage UML pour représenter un système de collecte, traitement et valorisation des déchets ménagers. Le système étudié existant est le Sydeme, Syndicat Mixte de Transport et de Traitement des Déchets de Moselle-Est. Le modèle permet de mettre en évidence toutes les parties prenantes et tous les liens existant entre-elles. De plus, nous avons représenté comme partie prenante de notre système l'acteur « nature » afin d'intégrer pleinement les notions liées au développement durable. Nous avons également proposé un tableau de bord qui a également la particularité de représenter en plus des éléments classiques, les trois piliers du développement durable, à savoir : l'aspect économique (que l'on retrouve dans la mesure des performances d'une entreprise), l'aspect social / sociétal et l'aspect environnemental. Ce tableau de bord est défini à partir d'indicateurs de mesure de la performance industrielle et de la performance durable avec adaptation à notre cas d'indicateurs durables généraux (non détaillés ici dans cet article). Ce travail nous permet donc de jeter les bases nécessaires à la mise en place de procédés d'amélioration, afin d'optimiser les aspects de circularité économiques et de minimiser le taux de déchets « inutilisables ».

En effet, dans le futur, nous souhaiterions améliorer notre modèle en représentant les différentes décisions que celles-ci soient à court, moyen et long termes. En effet, l'aspect législatif et normatif est un élément important en développement durable et nous souhaiterions pouvoir faire un lien entre notre système et cet aspect législatif afin de pouvoir anticiper au maximum en couplant notre système de pilotage à la gestion des risques. Nous souhaiterions également associer les systèmes multi-agents à notre modèle et notre tableau de bord de façon à pouvoir simuler simplement notre système et ainsi l'améliorer en proposant un outil d'aide à la décision. « *Reality is understood to be composed of complex open systems with emergent properties and transformational potential (Byrne, 2005)¹. These characteristics are typical of complex, adaptive systems (CAS), of which eco-social systems are a part.* » [Marshall, 2013, p. 999]. Il existe de nombreux systèmes éco-sociaux ; le cas du traitement de déchets en est un exemple. Nous pouvons l'affirmer, car il s'agit d'un système ouvert et complexe. Donc, l'utilisation des systèmes multi agent serait une bonne alternative pour optimiser son pilotage.

¹ Byrne, D., 2005. Complexity, configurations and cases. *Theory, Culture & Society* 22 (5), 95 –111.

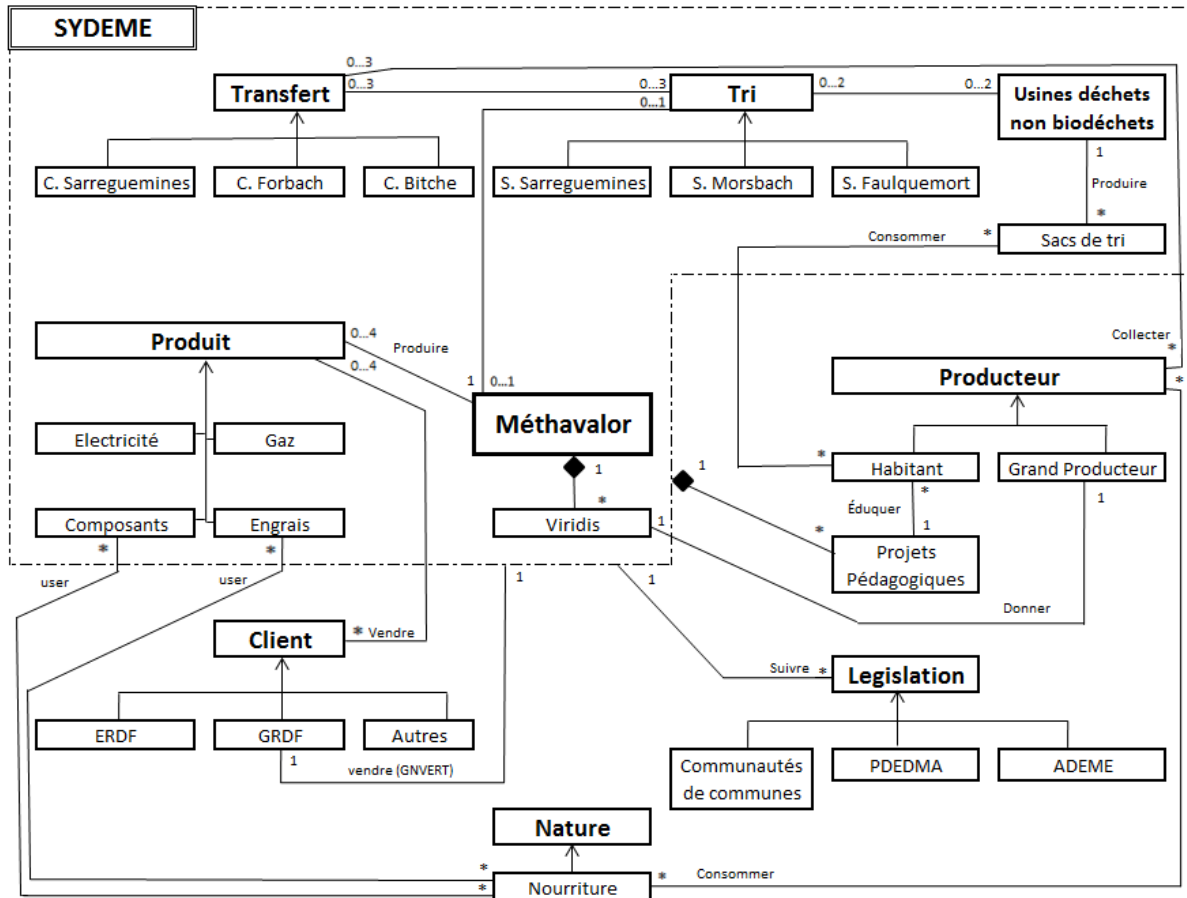
REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier grandement le Sydeme pour toute l'aide apportée et l'opportunité offerte à l'élaboration de ce travail. De plus, les différentes explications concernant le procédé innovant mis en place ont été précieuses pour la bonne compréhension du système existant.

REFERENCES

- Boutaud A., (2005), Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ?, *thèse de Doctorat*, École Supérieure des Mines de Saint-Étienne, Saint-Étienne, 2005.
- Greene, K. L., Tonjes, D. J., (2014). Quantitative assessments of municipal waste management systems: Using different indicators to compare and rank programs in New York State. *Waste Management*, 34, p. 825–836.
- Lavee, D., Nardiya, S., (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system, *Waste Management*, 33(5), p. 1064–1072.
- Li, X., Deng, B., Ye, H., (2011). The Research Based on the 3-R Principle of Agro-circular Economy Model-The Erhai Lake Basin as an Example. *Energy Procedia*, 5, p. 1399–1404.
- Marshall, R. E., Farahbakhsh, K., (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), p. 988–1003.
- Mendes, M., Santos, A. C., Perna, F., Ribau Teixeira, M., (2012). The balanced scorecard as an integrated model applied to the Portuguese public service: a case study in the waste sector. *Journal of Cleaner Production*, 24, p. 20–29.
- Miles, R., Hamilton, K., (2006). Learning UML 2.0, O'Reilly Media; first edition (May 2, 2006).
- MIT, 1972, site internet vérifié en mai 2014, document en anglais <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- Mosler, H. J., Drescher, S., Zurbrugg, C., Caballero Rodriguez, T., Guzman Miranda, O., (2006). Formulating waste management strategies based on waste management practices of households in Santiago de Cuba, Cuba. *Habitat International*, 30(4), p. 849–862.
- Pires, A., Martinho, G., Chang, N.-B., (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), p. 1033–1050.
- Rapport Bruntland, (1987), site internet vérifié en mai 2014, rapport publié suite à la Conférence des Nations Unies qui a eu lieu à Stockholm en 1983 <http://www.worldbank.org/depweb/english/sd.html>
- Renauld, R., Roy, D., Pourcel, C., (2009), Contribution au pilotage des organismes de formation, 8ème Congrès International de Génie Industriel, Tarbes, Juin 2009.
- Renauld, R., Roy, D., Pourcel, C., (2007), Pilotage et indicateurs de performance, 1ère conférence internationale d'ingénierie des systèmes de formation, 14, 15 et 16 octobre 2007, Carthagène, Colombie
- Scipioni, A., Mazzi, A., Mason, M., Manzardo, A., (2009). The Dashboard of Sustainability to measure the local urban sustainable development: The case study of Padua Municipality. *Ecological indicators*, 9, p. 364 – 380.
- Uyarra, E., Gee, S., (2013). Transforming urban waste into sustainable material and energy usage: the case of Greater Manchester (UK), *Journal of Cleaner Production*, 50, p. 101–110.
- Yi, M. Z., Guo, H. H., Li, H., (2011). An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems. *Journal of Environmental Management*, 92(3), p. 522–530.
- Ying, J., Li-Jun, Z., (2012). Study on Green Supply Chain Management Based on Circular Economy. *Physics Procedia*, 25, p. 1682–1688.
- Zurbrugg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., Küper, D., (2012). Determinants of sustainability in solid waste management – The Gianyar Waste Recovery Project in Indonesia. *Waste Management*, 32(11), p. 2126–2133.

ANNEXE 1 : DIAGRAMME UML DES CLASSES



Annexe 1 Diagramme UML du système de gestion des déchets ménagers étudié

ANNEXE 2 : DIAGRAMME UML DES INTERACTIONS

