



HAL
open science

De l'importance de la décision multi-critères pour accompagner le développement durable : Application dans l'industrie du bâtiment

Gilles Thing-Leo, Francis Claude

► To cite this version:

Gilles Thing-Leo, Francis Claude. De l'importance de la décision multi-critères pour accompagner le développement durable : Application dans l'industrie du bâtiment. Congrès Lambda Mu 22 " Les risques au cœur des transitions " (e-congrès) - 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2020, Le Havre (e-congrès), France. hal-03483615

HAL Id: hal-03483615

<https://hal.science/hal-03483615>

Submitted on 16 Dec 2021

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.



De l'importance de la décision multi-critères pour accompagner le développement durable : Application dans l'industrie du bâtiment.

On the multi-criteria decision process for enhancing the sustainable development: Application in the building industry.

Gilles THING LEO

*Institut de Recherche en Constructibilité,
École Spéciale des Travaux Publics du
Bâtiment et de l'Industrie,
Université Paris-Est
Cachan, France
gilles.thingleo@estp.fr*

Francis CLAUDE

*Institut de Recherche en Constructibilité,
École Spéciale des Travaux Publics du
Bâtiment et de l'Industrie,
Université Paris-Est
Cachan, France
fclaude@estp-paris.eu*

Résumé: L'analyse de cycle de vie (ACV) est utilisée pour quantifier les impacts environnementaux dus aux projets de construction. La communication décrit le processus décisionnel mettant en jeu un algorithme d'agrégation basé sur une mesure non-additive afin d'agrèger les indicateurs d'impacts en une note synthétique.

Summary: The life cycle assessment (LCA) is used for measuring the environmental impacts caused by the construction projects. This communication describes the decision-making process involving an aggregation algorithm based on a non-additive measure in order to aggregate the impact indicators into a synthetical score.

Keywords— *développement durable, décision multi-critère, mesure non-additive, impact environnemental, construction, bâtiment, cycle de vie.*

I. INTRODUCTION

L'industrie française du bâtiment s'apprête à négocier un tournant sans précédent avec l'introduction prochaine d'une réglementation environnementale (RE2020). Par rapport aux précédentes réglementations thermiques, elle se différencie, d'une part, par le fait qu'elle est plus exigeante : la consommation énergétique maximale passe de 50 kWh/m² à 0 kWh/m² pour les constructions neuves. Cela implique donc que chaque nouveau bâtiment devra produire sa propre énergie pour fonctionner. D'autre part, le spectre des préoccupations s'élargit avec notamment le renforcement des contraintes liées au confort thermique, notamment en période de canicule, mais aussi en intégrant un seuil maximal d'émission de gaz à effet de serre et ceci sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. L'ajout de contraintes supplémentaires pose alors la question de l'appréciation de la performance globale des bâtiments, afin d'être en mesure de piloter cette performance sur le cycle de vie pour limiter les impacts environnementaux et maintenir un niveau de confort acceptable pour leurs occupants.

Étant donné ce contexte général, la présente communication aborde le problème de la décision multi-critères qui s'impose à la suite d'une analyse de cycle de vie à l'échelle d'un ouvrage bâti. Dans un premier temps nous évoquerons les pratiques actuelles concernant l'analyse de cycle de vie et leurs limites quant à son utilisation comme outil d'aide à la décision dans le cadre du développement durable. Dans un second temps, nous exposerons les résultats d'une expérimentation d'analyse multi-critères mettant en jeu une mesure non-additive permettant d'obtenir un score unique afin de classer des options à partir de nombreux indicateurs d'impacts environnementaux. L'utilisation d'une mesure non-additive rompt avec les méthodologies d'agrégations ou de scoring classiquement appliquées lors du classement des options mise en concurrence au sein d'une ACV.

II. ANALYSE DE CYCLE DE VIE

L'avenir de la construction s'inscrit dans une logique de frugalité en termes de consommation de ressources, de limitation d'impact négatifs pour l'environnement et de juste nécessaire pour assurer le confort des usagers. Des valeurs seuils sont apparues au fil des années pour encadrer les concepteurs afin de construire des ouvrages de plus en plus compatibles avec les exigences du développement durable. Ceci impose notamment de tenir une comptabilité des effets de la construction d'un bâtiment sur l'environnement. C'est pourquoi a été conceptualisé l'Analyse de Cycle de Vie (ACV).

L'ACV est caractérisée par deux principes qui garantissent l'exhaustivité dans la prise en compte des impacts potentiels d'un produit sur l'environnement, que cela soit à l'échelle globale (ex : contribution à l'émission de CO₂ favorisant le réchauffement climatique) ou à l'échelle locale (ex : quantité de déchets produit sur chantier) : (i) la prise en compte de nombreux critères pour éviter le report d'impact entre critères et (ii) la prise en

compte de toutes les phases du cycle de vie de l'ouvrage pour éviter le report d'impact entre phase.

Il existe plusieurs outils logiciels d'ACV permettant de procéder à la quantification des impacts environnementaux d'un produit ou d'un ouvrage. Cependant la quantification de chaque type d'impact est normée afin d'encadrer les pratiques et conserver de la cohérence lors d'une éventuelle comparaison ultérieure entre des études réalisées avec des outils différents.

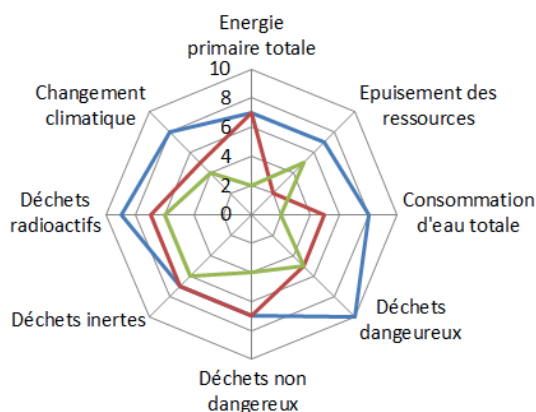
La pratique de l'ACV est encadrée pour ce qui est des ouvrages bâtis par un certain nombre de normes qui se déclinent en un cadre méthodologique général [1]. Un cadre pour l'évaluation des performances environnementales [2] et une méthode de calcul des impacts environnementaux [3],

A titre d'exemple sont mentionnés des indicateurs d'impacts listés dans les normes précédemment citées. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, mais on remarque que les unités de mesure de ces indicateurs ne sont pas homogènes. Cela pose alors le problème d'une éventuelle agrégation pour obtenir un indicateur d'impact global.

Indicateur d'impact	Unité
Energie primaire	J
Consommation d'eau	m ³
Déchet	Kg
Changement climatique	T CO ₂ éq
Acidification atmosphérique	kg SO ₂ éq
Ozone photochimique	kg éthylène éq
Epuisement des ressources	kg antimoine éq

Tab. 1 Exemples d'indicateur d'impact.

Une fois les différents indicateurs d'impacts calculés, les résultats sont usuellement disposés sous forme de diagramme « radar ». De cette façon il devient possible de comparer plusieurs options grâce à leur contour géométrique. Il existe alors des cas simples (Cas A en Fig.1) où une option domine l'ensemble des autres puisque que son contour se dissocie clairement avec la convention que 10 est la valeur la meilleure. Néanmoins ce cas de figure ne se produit que très rarement, ce qui pose la question de la pertinence de l'utilisation de ce type de représentation comme outil d'aide à la décision (Cas B en Fig.1 bis).



1 Diagramme « radar » (Cas A)

Fig.

Pour pallier cette lacune, des recommandations ont été formulées dans le cadre d'expérimentation à échelle européenne et mondiale dans le but de synthétiser l'impact environnemental en un seul score [4]. Cette agrégation est opérée toujours de la même manière : par l'utilisation d'une pondération additive et linéaire dont les coefficients sont proposés de manière arbitraire pour chaque critère considéré. Cette méthode est d'ailleurs préconisée par le guide EeBGuide et par le Green Guide adossés à la certification BREEAM [4].

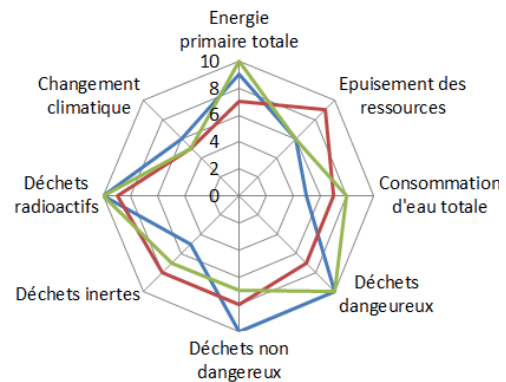


Fig. 1 bis Diagramme « radar » (Cas B)

	Total (éq. personne /an)	Pondération	Notes pondérées (éq. personne)
Energie primaire	40,77	22 %	9,1
Consommation d'eau	1,24	11 %	0,1
Déchet	32,08	22 %	7,1
Changement climatique	30,80	28 %	8,6
Acidification atmosphérique	4,63	11 %	0,5
Ozone photochimique	2,65	6 %	0,1
Total		100 %	25,54

Tab. 2 Agrégation pondérée pratiquée usuellement [4].

Cette méthode a le mérite d'être simple du point de vue calculatoire et favorise une certaine transparence dans la diffusion des résultats. Cependant, plusieurs limites méritent d'être mentionnées concernant cette façon d'opérer : (i) comment justifier l'usage de coefficients de pondération arbitraires en sachant qu'il n'existe pas de décideur unique ? (ii) comment justifier l'usage de ce type d'agrégation qui ne tient pas compte de l'interaction entre chacun des critères ?

III. MESURE NON ADDITIVE ET AGRÉGATION DES PRÉFÉRENCES ENVIRONNEMENTALES :

A. Principes

La question de l'agrégation des différents indicateurs d'impact afin de produire un classement des options étudiées lors d'un projet de construction suscite d'autres problématiques autant pratiques que théorique. En effet, pour ce qui est de la pratique, les études ACV en amont des projets de construction, permettent d'engager le dialogue sur les choix de conceptions de l'ouvrage. Ces discussions engagent plusieurs experts compétents dans le domaine de l'éco-conception et un éventuel outil d'aide à la décision se doit donc de capter les préférences de ces derniers afin de produire un classement global entre les différentes options de conception. De plus l'élicitation des préférences de ces experts se doit d'être brève compte tenu des contraintes horaires de chacun au sein d'un projet de construction. En outre, étant donné que chaque ACV produit un nombre d'indicateurs d'impact élevé (de l'ordre de 10), les critères de décisions traités par les experts sont aussi nombreux, ce qui rend délicat l'emploi des méthodes de type MAUT ou GMAUT [5] En effet, dans ces derniers cas, il faut comparer deux à deux chaque critère de décision : n critères de décisions (ou indicateurs d'impacts environnementaux dans notre cas) impliqueraient 2n variables mathématiques à déterminer. L'aspect combinatoire représente donc un frein à l'application de MAUT ou GMAUT pour une analyse multi-critère concernant une ACV compte tenu du coût, en terme de temps, consacré à l'élicitation par chaque expert.

Les qualités attendues de l'outil d'aide à la décision proposé dans le cadre de cette communication sont donc :

- Élicitation et sauvegarde des préférences des experts interrogés
- Prise en compte de l'avis de plusieurs experts/décideurs (sans fixer une quelconque pondération arbitraire)
- Permettre le traitement d'un nombre élevé de critères de décision
- Produire un classement dans un délai court (inférieur à quinze minutes pour évaluer l'impact global de 15 bâtiments sur 9 critères).

Pour répondre à l'ensemble de ces problématiques, notre intérêt s'est porté sur l'utilisation d'un algorithme utilisant une mesure non-additive et permettant d'agrèger globalement les préférences des experts qui se seraient exprimés sur les options qui leur ont été proposées [6]. L'usage de l'outil informatique s'est imposé par le besoin de rapidité quant au temps de calcul.

L'intérêt d'une mesure non-additive [6] réside dans la prise en compte des interactions et des redondances entre les critères de décision à partir de l'expression des préférences de l'expert sur une base de cas ; en effet l'intensité des interactions et des redondances régnant au sein des différents sous-ensembles de critères de décision est quantifiée numériquement à partir de la valeur de chaque critère de décision. Ainsi, la complexité de la prise de décision est prise en compte et ceci au sens premier du terme. De ces interactions sont alors déduites des pondérations qui garantissent le minimum d'entropie (néguentropie) du système de critères considéré.

B. Application

Afin de mettre en application la mesure non additive, nous nous plaçons dans le cadre du problème du classement de 16 options possibles concernant la construction d'un bâtiment. Ces options diffèrent par leur design (dimensions, matériaux, stratégie d'occupation, etc.). Une ACV classique a été effectuée au préalable sur chaque option afin de calculer les impacts environnementaux associés. Ensuite une normalisation entre 0 et 10 a été effectuée pour chaque indicateur d'impact. Par exemple, pour la qualité de CO₂ émis, le bâtiment qui en rejette le plus par unité de surface obtient la note de 0, et le bâtiment qui en émet le moins obtient la note de 10. A noter ici la convention suivante : plus les impacts environnementaux sont élevés, plus la note entre 0 et 10 est faible car il s'agit d'impacts négatifs. À ce stade seules des données objectives, issues du mode de calcul classique de l'ACV sont utilisées.

On demande ensuite à deux experts de noter entre 0 et 10 chaque cas (autrement dit chaque ligne) globalement en tenant compte des notes précédemment affectées pour chaque indicateur d'impact (IP). Par exemple une note de 8 sur 10 pour l'option 2, signifie que l'option apparaît pour le décideur comme une option globalement bonne du point de vue environnemental. Ainsi, chaque décideur introduit dans le système ses préférences, sans fixer de manière arbitraire une éventuelle pondération sur chaque critère d'impact. Cette étape a demandé à chaque expert 10 minutes pour renseigner la table de 16 lignes et 9 colonnes (car 9 indicateurs d'impacts ont été pris en compte dans l'expérimentation).

	IP 1	IP 2	...	IP n	Expert
Cas 1	3	7	...	3	7
Cas 2	1	4	...	0	8
...	8	4	...	2	5
Cas 15	8	9	...	6	5
Cas 16	4	2	...	5	6

Tab. 3 Estimation subjective de la qualité environnementale des cas par les experts

Puis, à partir des données objectives issues des ACV et des préférences introduites par le biais des notes globales concernant chaque option, notre algorithme en déduit pour chaque option une note de synthèse. La détermination de ces notes de synthèse est faite en un temps court de l'ordre de la seconde, ceci malgré un nombre de critère de l'ordre de 10. À noter de plus que plus la base de cas est fournie (ici 16 cas), plus le système est en capacité d'apprendre et donc de corriger une divergence de jugement sur une option donnée si l'avis d'un décideur s'écarte trop de l'avis général des autres décideurs. Plus le nombre de cas est grand, plus le système apprend et garde en mémoire la préférence du ou des experts. En outre, sans perte de généralité, la concaténation des tables telles que figurant en Tab.3, permet de ne pas réduire l'analyse à un unique décideur et de l'étendre à l'ensemble des experts présents sur le projet de construction.

	Expert 1	Expert 2	RiD
Cas 1	7	7	7
Cas 2	8	9	8
Cas 3	5	4	5,1
Cas 4	5	4	5
Cas 5	4	3	3,7
Cas 7	6	5	5,9
Cas 8	6	6	6,1
Cas 9	10	10	9,4
Cas 10	9	8	9
Cas 11	8	9	8
Cas 12	5	4	5
Cas 13	7	6	7,2
Cas 14	4	3	3,8
Cas 15	7	7	7,5
Cas 16	6	6	6,3

Tab. 4 Calcul des notes de synthèse par l'algorithme RiD pour chaque cas

In fine, nous disposons d'une note globale pour chaque option, et ceci quel que soit le nombre de décideurs. (Fig.2) Ceci rend alors possible le classement sans équivoque de ces dernières afin de déterminer la meilleure option du point de vue environnemental, contrairement à une appréciation visuelle d'un diagramme « radar ». Ce résultat est une proposition faite par le système et fournit un élément tangible d'aide à la décision.

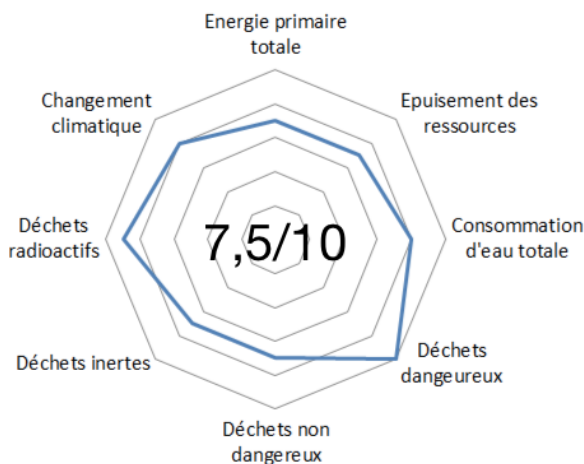


Fig. 2 Note de synthèse obtenue par une mesure non-additive pour le cas 15 avec le logiciel ©RiD Construction.

En outre, le positionnement de chaque expert par rapport la note de synthèse que fournit le système, permet d'ouvrir la discussion au sein du projet de construction afin de clarifier les causes qui ont poussé tel ou tel expert à positionner une certaine option plus ou moins haut dans le classement. Dans notre expérimentation le classement de chaque expert ne possède pas de divergence notable l'un par rapport à l'autre.

Pour disposer d'un processus structuré d'objectivation de la subjectivité nous avons utilisé le même type de représentation graphique que celle proposée initialement par F. Beaudoin [8]. Dans notre cas la fonction d'utilité est remplacée par une fonction de valeur ou fonction objectif qui restitue les préférences en matière de performance environnementale des décideurs. Lors d'un projet de construction, les critères environnementaux ne sont pas les seuls à intervenir lors des choix de conception. La question du coût intervient notamment. C'est pourquoi un second niveau d'analyse peut être entrepris en évaluant la pertinence de l'excellence environnementale par rapport à son coût. Le questionnement pragmatique qui émerge donc est le suivant : « le client est-il prêt à perdre ΔV en valeur pour gagner ΔC en coût ? », « le client est-il prêt à consentir ΔC en coût supplémentaire pour gagner ΔV en valeur ? ».

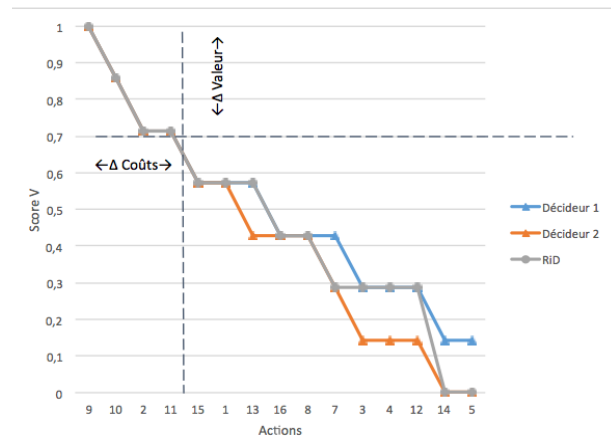


Fig. 3 Classement des options

Pour ce faire, nous normalisons les notes entre 0 et 1 selon un axe « Valeur ». Notons que la note minimale obtenue est de 3, donnée par le décideur 2 pour les options 5 et 14. Ainsi une note de 3 vaut 0 en valeur. Inversement, la note maximale qui a été affectée est 10 à l'option 9. Ainsi une note de 10 vaut 1 en valeur (Fig.4).

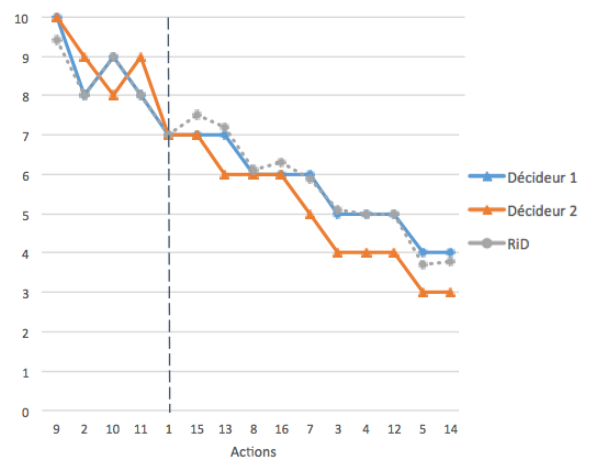


Fig. 4 Arbitrage Δ Valeur Vs Δ Coût

Sur la base de cette nouvelle représentation selon un axe Valeur-Coût il devient alors possible, dans un premier temps d'isoler les options les plus vertueuses du point de vue environnemental, et dans un second temps de procéder à la recherche d'opportunités d'économies significatives entre des options de qualité environnementale sensiblement équivalentes. Afin de synthétiser l'approche exposée ici, en Fig. 5 se trouve le synoptique de l'expérimentation.

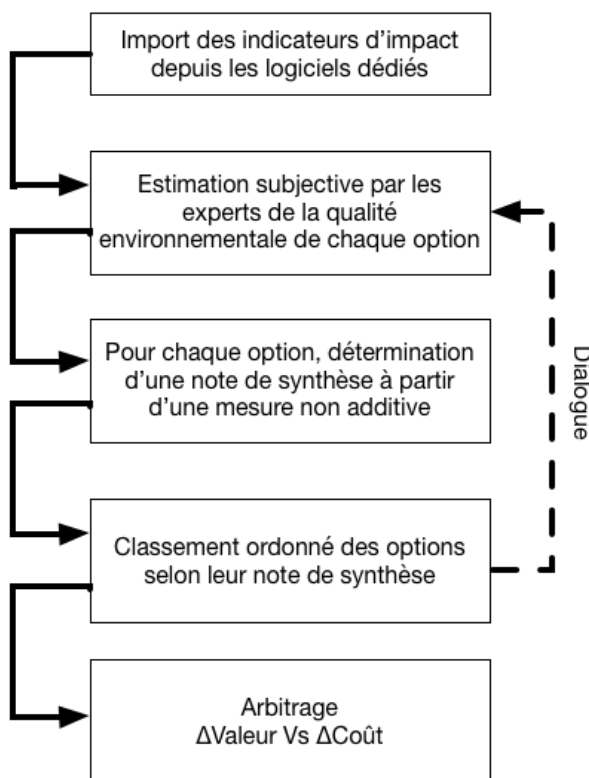


Fig. 5 Synoptique général de la démarche

IV. CONCLUSION

Dans le cadre d'un projet de construction en phase amont avec plusieurs options concernant le futur design de l'ouvrage bâti, la question que se pose les experts de l'éco-conception est : quel est le choix de design qui fournit le profil environnemental optimal ?

Une fois les différents indicateurs d'impacts calculés selon les caractéristiques de chaque option et les règles de calculs fournies par les normes ad hoc, le traditionnel diagramme « radar » sur lequel est représenté les profils environnementaux ne permet que très rarement d'identifier l'option optimale. En effet l'entrecroisement des profils sur un grand nombre d'indicateurs d'impact ne permet pas de créer une relation d'ordre nécessaire au classement ordonné des options. C'est pourquoi la littérature propose de procéder à une agrégation pondérée de chaque indicateur d'impact (ou critère) à l'aide d'une expression linéaire afin d'obtenir une unique note de synthèse. Or, ce mode de calcul est arbitraire et ne retranscrit en rien les préférences des experts ou du client sur le projet donné.

Nous avons donc proposé dans cette communication, une alternative permettant de synthétiser en un score unique le profil environnemental de chaque option à partir de l'élucidation des préférences d'un groupe d'expert. Un classement ordonné d'un ensemble d'option devient alors possible. Cette note synthétique permet par ailleurs de

donner accès à un public non expert de l'ACV de juger de l'excellence environnemental d'un ouvrage. À terme cette solution se positionne comme un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage, désireux d'optimiser le profil environnemental de leur futur bien et même d'identifier des opportunités de gain de valeur en réalisant un arbitrage entre qualité environnementale et coût d'obtention de cette même qualité environnementale.

REMERCIEMENT

Les auteurs de cette communication remercient les sociétés ©Bouygues Construction et ©RiD respectivement pour les ressources consacrées à l'expérimentation et la fourniture de l'algorithme utilisant la mesure non additive évoquée.

REFERENCES

- [1] AFNOR (2010). *Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Évaluation des bâtiments - Partie 1 : cadre méthodologique général*. NF EN 15643-1.
- [2] AFNOR (2011). *Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Évaluation des bâtiments - Partie 2 : cadre pour l'évaluation des performances environnementales*. NF EN 15643-2
- [3] AFNOR (2012). *Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Évaluation de la performance environnementale des bâtiments - Méthode de calcul*. NF EN 15978
- [4] ADEME (2017). *Pratique opérationnelle de l'ACV bâtiment en éco-conception et aide à la décision - Retour d'expérience de la communauté francilienne d'expérimentation Septembre 2012 - Septembre 2016*.
- [5] Beaudoin, F., & Munier, B. (2009). *A Revision of Industrial Risk Management : Decisions and Experimental Tools in Risk Business*. Risk and Decision Analysis , 1, 3-20.
- [6] Claude, F., & Bonnet, R. (2017). *Évaluation multicritère de la performance environnementale des bâtiments : théorie des perspectives et pratique*. Séminaires de l'Institut de Recherche en Constructibilité. Cachan: Institut de Recherche en Constructibilité.
- [7] Wang, Z. Klir, G. (2009). *Generalized Measure Theory*, Springer US.
- [8] Beaudoin, F. (2006). *Aide à la décision pour le management des risques industriels*. Dans Magne, L., & Vasseur, D. Risques Industriels. Complexité, incertitude et décisions : une approche multidisciplinaire (éd. Coll. EDF R&D). Cachan: Tech & Doc Lavoisier.