

Titre du projet :

**Outils web pour la promotion des nanotechnologies et l'utilisation sûre des nanomatériaux dans le secteur des plastiques**

Acronyme du projet : **NanoDesk**

Code du projet : **SOE1/P1/E0215**

Titre du rapport

**E. A1c système décisionnel basé sur une analyse multicritères (MCDA)**

Coordinateur et responsable du Document

**ITENE**

Date d'émission :

**03/2017**

**05/2017**

Nature du livrable :

**RESTREINT**

<b>Action</b>	<b>A1.3</b>	<b>Période de temps</b>	<b>Mars 2017</b>
<b>Principales tâches connexes</b>	<b>A.1.3</b>		

## **RESUME**

L'objectif de l'activité A1.3 est le développement d'un outil permettant l'identification et la sélection de nanomatériaux manufacturés les plus adaptés (ENM), pouvant être employés dans le secteur plastique pour améliorer les propriétés spécifiques du composé. L'outil, qui est disponible en format Microsoft Excel, est une application web en plusieurs langues, qui consiste en un système de prise de décision fondée sur une analyse multicritères. Les caractéristiques les plus importantes, qui déterminent si un nanomatériau est adapté ou non à une utilisation ou application particulière, ont été identifiées et quantifiées via des critères de sélection, établissant ainsi une hiérarchie et leur assignant un facteur de poids. Ce système de

critères a ensuite été mis en œuvre dans une application Microsoft EXCEL à l'aide du langage de programmation Visual Basic (VB), et une application web est proposée sur la plateforme en ligne NanoDesk.

# **LISTE DES ACRONYMES**

**ENM :** Nanomatériaux manufacturés (Engineered Nano-Materials)

**MCDA :** Décision basée sur une analyse multicritères (Multi-Criteria Decision Analysis)

**VB :** Visual Basic



# TABLE DES MATIÈRES

*RESUME*

*LISTE DES ACRONYMES*

*TABLE DES MATIÈRES*

*LISTE DES TABLEAUX*

*LISTE DES FIGURES*

*1. objectif de l'outil*

*2. DECISION BASEE SUR UNE ANALYSE MULTICRITÈRES*

*2.1. Définition MCDA*

*2.2. Solutions possibles*

*2.3. Détermination des critères de sélection et hiérarchie*

*2.4. Système de notation et poids relatifs*

*3. L'outil MICROSOFT EXCEL*

*4. L'APPLICATION WEB*

*5. CONCLUSIONS*

# **LISTE DES TABLEAUX**

[Tableau 1 : Liste des solutions envisagées dans le processus décisionnel.](#)

Tableau 2 : Principaux critères de sélection pris en compte pour la décision basée sur une analyse multicritères.

Tableau 3 : Facteurs secondaires inclus dans le système décisionnel.

Tableau 4 : Système de notation des critères principaux. Une couleur plus foncée correspond à une meilleure qualité et, par conséquent, à une note plus élevée.

Tableau 5 : Système de notation des critères secondaires. Une couleur plus foncée correspond à une meilleure qualité et, par conséquent, à une note plus élevée.

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Représentation schématique du système de notation appliqué.

Figure 2 : L'outil MCDA de NanoDESK.

Figure 3 : Exemple de résultats fournis par l'outil NanoDESK.

Figure 4 :

Figure 5 :

Figure 6 :



# **1. Objectif de l'outil**

Le projet SUDOE NanoDesk se focalise sur la promotion des nanotechnologies en tant qu'instrument fondamental pour le développement de nouveaux matériaux en plastique. Des études ont montré que l'inclusion de nanomatériaux donne aux composés classiques de nouvelles propriétés à haute valeur ajoutée ou permet l'amélioration des propriétés initiales. Toutefois, la sélection du nanomatériau le plus approprié, en vue de son utilisation dans un produit spécifique, requiert de considérer non seulement les avantages, amélioration ou apparition de nouvelles propriétés, mais aussi les risques potentiels, impact sur la santé humaine ou l'environnement.

L'objectif principal du projet est le développement d'une plate-forme web destinée à encourager la diffusion sur le marché et l'application des nano-composites, mais aussi de se poser en tant que structure de transfert de connaissances. L'idée est de fournir au marché du plastique un instrument capable de garantir la qualité des nanostructures polymères utilisées, la protection de la santé humaine et de l'environnement et de susciter la demande pour des produits proposant des propriétés améliorées, tout en accroissant la recherche et la compétitivité.

**L'action A1.3 s'inscrit dans ce cadre et vise à renforcer un système de prise de décision des entreprises du secteur du plastique dans la sélection des nanomatériaux les plus appropriés à utiliser, en fonction de leurs besoins.** Basée sur la MCDA, une application utilisant le langage Visual Basic (VB) sous Microsoft EXCEL a été conçue. La sélection du nanomatériau adéquat dépend de différents facteurs, ou variables. La cible de notre outil est l'Entrepreneur qui souhaite entrer en contact avec les nanotechnologies appliquées aux produits plastiques ou désireux d'en savoir plus sur les options disponibles sur le marché. Afin de mettre l'outil à la disposition de tous les intervenants et les utilisateurs potentiel, le système de « support de décision » a été également intégré à la plate-forme web de NanoDESK.

L'utilisateur choisira le secteur industriel auquel il appartient et la propriété qu'il veut améliorer ou conférer au produit par le biais de l'utilisation des nanomatériaux. Cependant, différents facteurs peuvent influencer la sélection, comme le prix, la disponibilité sur le marché ou la dangerosité de la substance. Tous ces aspects sont directement pris en charge par l'outil. Ces facteurs constituent le point de départ pour définir un ensemble de critères de sélection précis. L'application les quantifie, établie une hiérarchie et assigne une pondération à chacune des substances considérées et, finalement, suggère à l'utilisateur les meilleures options compte tenu du secteur industriel et du produit choisi.

Les substances considérées, les critères de sélection ainsi que le système de pondération utilisés, sont présentés dans les paragraphes suivants.

## **2. Décision basée sur une analyse multicritères**

### **2.1. Définition de la MCDA**

La décision basée sur une analyse multicritères ou MCDA, est un outil précieux qui peut être appliqué à de nombreuses situations complexes. Elle est tout à fait appropriée lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes en faisant un choix parmi plusieurs possibilités. L'objectif commun de ces méthodes est d'évaluer des solutions et d'en choisir une parmi plusieurs en se basant sur plusieurs critères, grâce à une analyse systématique et non par une décision individuelle ou collective non structurées.

Les méthodes MCDA procèdent en général en suivant les étapes suivantes :

1. Définition du problème, à partir des informations fournies par le demandeur,
2. Génération des solutions possibles, en mettant à contribution les participants, notamment des experts,

3. Formulation des critères et sous-critères à partir desquels les solutions possibles doivent être notées et développement des hiérarchies (contribution des participants),
4. Collecte d'informations sur l'importance relative des critères, qui établit les poids des différents critères dans le processus décisionnel,
5. Choix systématique des solutions possibles appropriées en spécifiant bien les algorithmes ainsi que les poids attribués et les notes obtenues sur les critères définis.

## 2.2. Solutions possibles

Les nanomatériaux que nous avons retenus pour être utilisés comme nanomatériaux de remplissage dans des matrices polymères sont présentés dans le Tableau 1. On trouvera plus de détails sur les raisons de cette sélection dans le livrable A1a.

Tableau 1 : Liste des solutions envisagées dans le processus décisionnel.

Nom	Formule
Dioxyde de titane	TiO <sub>2</sub>
Oxyde de zinc	ZnO
Dioxyde de silicium	SiO <sub>2</sub>
Oxyde de cuivre	CuO
Oxyde d'aluminium	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Argent	Ag
Nano-argiles	-
Noir de carbone	C
Graphène	C
Fullerènes	C
Nanotubes mono parois	C
Nanotubes multi parois	C
Or	Au
Carbonate de calcium	CaCO <sub>3</sub>

## 2.3. Détermination des critères de sélection et hiérarchie

Le choix du nanomatériau le plus approprié pour une utilisation spécifique dans un secteur industriel donné peut être affecté par un grand nombre de facteurs, qui sont relatifs à la fois à la disponibilité de la substance sur le marché et à sa dangerosité. Les principaux critères de sélection que nous avons choisis sont donc de deux types et sont répertoriés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Principaux critères de sélection pris en compte dans la MCDA.

<b>Principaux critères :</b>
Toxicité par inhalation
Toxicité en eaux douces (daphnie)
La production européenne par an (tonnes / an)
Prix (€/ kg)
Toxicité en eaux douces (poisson)
Toxicité par voie orale

Dans le premier groupe, nous trouvons donc des critères relatifs à l'exposition des humains aux substances, mais aussi des espèces aquatiques sensibles à la contamination de l'eau (daphnies et poissons). Nous voulons que les entreprises du secteur plastique fassent un usage des nanomatériaux. Cependant, nous voulons que notre approche soit réaliste et utile aux entrepreneurs. Nous avons donc également inclus dans les principaux critères le prix du matériau et sa disponibilité sur le marché.

Dans le Tableau 3, nous listons des facteurs secondaires, également pris en compte dans la MCDA, qui influencent le choix d'un nanomatériau. Nous y trouvons notamment des voies moins probables d'exposition de l'homme aux nanomatériaux.

Tableau 3 : Les facteurs secondaires inclus dans le système décisionnel.

<b>Facteurs secondaires :</b>
Toxicité par voie cutanée
Génotoxicité
Cytotoxicité
Toxicité de la reproduction
Toxicité en eaux douces (algues)
Toxicité du sol (vers de terre)

Il est possible de classer, pour chacun des critères et facteurs de chaque substance, parmi cinq différents niveaux (très élevé, élevé, moyen, faible, très faible) ou de le déclarer « non classé », dans le cas où les informations ne sont pas disponibles dans la littérature. (voir Tableau 4 et Tableau 5).

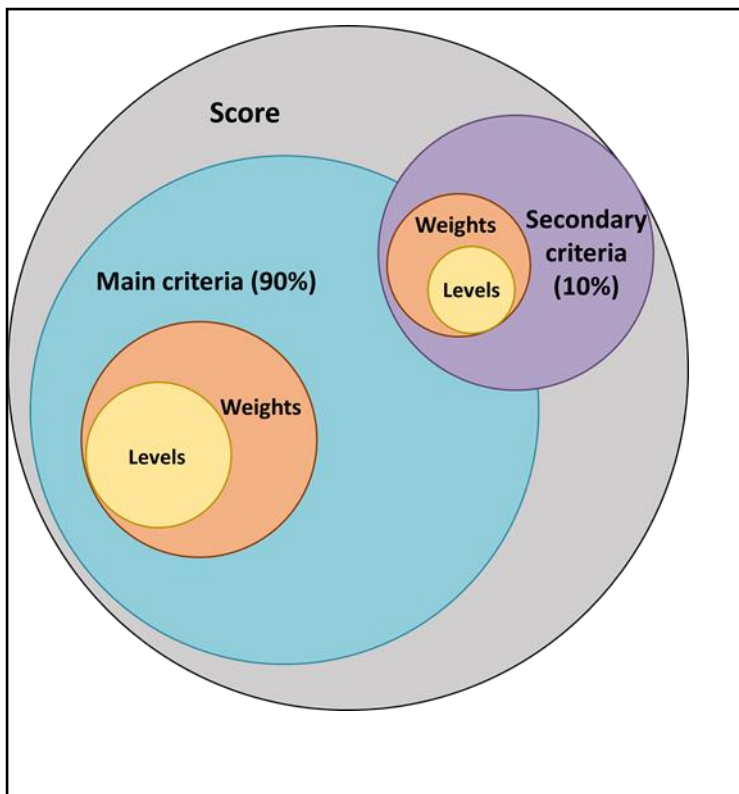
## 2.4. Système de notation et poids relatif

Les critères ci-dessus sont donc utilisés pour attribuer une note à chacun des nanomatériaux inclus dans notre outil MCDA.

Le système de notation que nous avons mis en œuvre est schématiquement représenté dans la Figure 1. Les critères principaux pèsent pour 90 % de la pondération, tandis que les 10 % restant sont donnés par les critères secondaires. Chaque critère a son propre poids, qu'il soit principal ou secondaire. Les poids des critères principaux ont été assignés en se basant sur la liste des priorités suivantes :

- santé humaine ;
- sécurité de l'environnement ;
- accessibilité du produit,

et en gardant à l'esprit que la somme des poids doit faire un.



Les critères secondaires sont considérés avec la même importance, et donc pèsent pour 1/6 de la note.

En considérant un critère donné, nous avons défini différents niveaux et établi la pondération correspondant à chacun d'eux. Ces pondérations vont de 0 à 90 dans le cas des critères principaux et de 0 à 10 pour les secondaires. Les notes les plus élevées correspondent aux meilleures propriétés. Les critères principaux et secondaires ainsi que leurs poids, niveaux et pondérations sont répertoriés dans les tableaux 4 et tableau 5.

Pour chaque critère, nous avons inclus le niveau « Non classé », pour tenir compte des cas dans lesquels l'information n'est pas disponible. Toutefois, comme il peut être noté dans les tables, différentes pondérations ont été affectées à ce niveau en fonction

du critère considéré. Par exemple, nous avons attribué un score de 33 sur 90 au fait de ne pas avoir d'information sur le prix d'une substance, mais la valeur descend jusqu'à 11 sur 90 lorsque nous traitons des niveaux de toxicité. En effet, ne pas connaître la toxicité d'un produit peut avoir des conséquences très graves sur la santé humaine et l'environnement, cela doit donc être considéré différemment d'un manque de connaissance du prix d'un produit sur le marché.

Tableau 4 : système de notation des principaux critères considérés. Une couleur plus foncée correspond à une meilleure qualité et, par conséquent, à une note plus élevée.

Critère principal	Poids	Niveaux	Pondération (0-90)
Toxicité par inhalation	0,5	Très haute	0
		Non évaluée	11
		Haute	22,5
		Toxique	45
		Faible	67,5
		Non toxique	90
Toxicité en eaux douces (daphnie)	0,2	Très haute	0
		Non évaluée	11
		Haute	22,5
		Toxique	45
		Faible	67,5
		Non toxique	90
La production européenne (tonnes / an)	0,1	0-100	0
		100-500	22,5
		Non évaluée	33
		500-1000	45
		1000-5000	67,5
		5000-10000	90
Prix (€/ kg)	0,1	> 500000	0
		50000-500000	22,5
		Non évalué	33
		5000-50000	45
		500-5000	67,5
		0-500	90
Toxicité en eaux douces (poisson)	0,06	Très haute	0
		Non évaluée	11
		Haute	22,5
		Toxique	45

		Faible	67,5
		Non toxique	90
Toxicité par voie orale	0,04	Très haute	0
		Non évaluée	11
		Haute	22,5
		Toxiques	45
		Faible	67,5
		Non toxique	90

Tableau 5 : Système de notation des critères secondaires considérés. Une couleur plus foncée correspond à une meilleure qualité et, par conséquent, à une note plus élevée.

Critère secondaire	Poids	Niveaux	Pondération (0-10)
Toxicité par voie cutanée	1/6	Très haute	0
		Non évaluée	1,5
		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10
Génotoxicité	1/6	Très haute	0
		Non évaluée	1,5
		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10
Citotoxicité	1/6	Très haute	0
		Non évaluée	1,5
		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10
Toxiques pour la reproduction	1/6	Très haute	0
		Non évalué	1,5

		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10
Toxicité en eaux douces (algues)	1/6	Très haute	0
		Non évaluée	1,5
		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10
Toxicité du sol (vers de terre)	1/6	Très haute	0
		Non évaluée	1,5
		Haute	2,5
		Toxiques	5
		Faible	7,5
		Non toxique	10

Il est maintenant simple d'évaluer la note des nanomatériaux inclus dans l'outil MCDA. Nous effectuons la somme arithmétique pondérée qui s'écrit :

$$S_k = \sum_i w_i p_i + \sum_j w_j p_j ,$$

où l'indice  $i$  correspond aux six critères principaux, l'indice  $j$  aux six critères secondaires et où :

- $S$  est la note totale obtenue par ce nanomatériau,
- $w_j$  et  $p_j$  sont respectivement le poids et la pondération des critères principaux du  $j^{\text{ème}}$  critère principal
- $w_j$  et  $p_j$  sont respectivement le poids et la pondération des critères secondaires du  $j^{\text{ème}}$  critère secondaire

Le premier terme de  $S$  donne une valeur comprise entre 0 et 90 ; le second entre 0 et 10. La note  $S$  est donc un nombre compris entre 0 et 100 qui représente la note totale obtenue par ce nanomatériau.



### **3. L'outil MICROSOFT EXCEL**

L'approche MCDA a été intégrée en un outil Excel programmé en langage Visual Basic. L'application est conçue pour être facile à utiliser. Elle se résume simplement en seulement quatre étapes successives dont deux d'entre elles sont en option. Chaque étape est une question à laquelle l'utilisateur est invité à répondre pour fournir les informations nécessaires à l'analyse.

Les deux questions obligatoires concernent :

1. le secteur industriel visé (emballage alimentaire, construction, électronique, automobile, sport et bien-être, ...),
2. la propriété qu'il veut renforcer ou conférer au polymère, grâce aux nanomatériaux (par exemple, améliorer les propriétés mécaniques, la résistance ou la rigidité, conférer des propriétés antibactériennes, des propriétés autonettoyantes...).

Si l'utilisateur dispose d'informations concernant la matrice polymérique dans laquelle il veut intégrer un nanomatériau, ou connaît déjà le produit qu'il va fabriquer (par exemple, des films pour l'emballage alimentaire ou des tuyaux s'il travaille dans le BTP constructions), il peut le rentrer dans l'application. Toutes les réponses peuvent être fournies facilement par l'utilisateur en sélectionnant une option dans un onglet déroulant à sélection multiple. Les listes sont interdépendantes, ce qui signifie que la propriété sélectionnable par l'utilisateur dépendra du secteur industriel ainsi que des propriétés et des produits choisis.

Après avoir répondu aux quatre questions, l'outil recherche, dans notre base de données, le nanomatériau le plus approprié. Les données sur les nanomatériaux utilisés dans les différents secteurs industriels du marché en plastique, les propriétés qu'ils sont capables de renforcer ou de conférer ainsi que les matrices polymères compatibles ont été récupérées après analyse approfondie et minutieuse des sources bibliographiques. La Figure 2 montre la structure de l'outil réalisé.

Decision making tool to assist the industry in the selection of the appropriate nanofiller

The project

NanoDesk is a 36 months project (Sept-01-16 to Aug-31-2017) approved in the first call for the comunityary program Interreg SUDOE and financed by the European Fund for the Regional Development (FEDER). The main objective of the project is to promote innovation and the use of nanotechnology in the plastic industry sector, favouring the establishment of stable relationships among the companies of the sector and the scientific community, providing the business network and the scientific community a wide spectrum of services oriented to the introduction of R+D solutions in the framework of nanotechnology and nanostructured materials in the plastic sector.

The tool

The NanoDesk Tool has been built to guide you in the selection of the best nanofiller for your polymeric matrix. Choose your industrial sector, tell us what you produce and which property you want to enhance in your polymer by means of nanotechnology. Thanks to a decision making process based on different factors like price, availability and hazardousness, with just one click the NanoDesk Tool will suggest you the best options in the market.

Step 1	Please, select the industrial sector you are interested in:	Choose an option: <b>Food</b>
Step 2	Please, select the property you want to enhance:	<b>Mechanical properties</b>
Step 3	Please, select the polymeric matrix (optional):	<b>Unknown</b>
Step 4	Please, select the product (optional):	<b>Unknown</b> <span style="font-size: small;">▼</span> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 2px;">           Beer            Bottler            Bioreactor            Packaging            Unknown         </div>

What is the more appropriate nanofiller?

Click

**Figure 2 : L’outil MCDA NanoDESK.**

Une fois que l’on clique sur le bouton, l’application s’exécute et renvoie une liste de nanomatériaux, jusqu’à trois, qui représentent les meilleures options disponibles sur le marché compte tenu du secteur industriel, de la propriété, du produit et de la matrice polymère choisis. Un exemple est illustré par la Figure 3.

Il est important de souligner que nous souhaitons faire évoluer, au cours du projet et après celui-ci, ces bases de données. L’objectif visé est de les enrichir, tant celle désignée « nanomatériaux » qui sert à la notation que celle contenant les informations sur les produits, les applications et les matrices polymères envisagées. Ceci sera rendu possible par l’expérience et les connaissances que nous pensons acquérir au cours du projet et en contact direct avec les experts de l’industrie du plastique.

Results		
These are the possible alternatives:		
1	Calcium carbonate	
2	Nanoclays	
3	MWNanotubes	

Figure 3 : Exemple de liste de résultats donnée par l'outil de NanoDESK.

## 4. L'APPLICATION WEB

L'outil NanoDESK d'aide à la décision décrit dans le paragraphe précédent est le premier d'un ensemble d'applications qui seront incluses dans la plateforme web de NanoDESK, et qui visent à agir comme un outil structuré de transfert de connaissances, encourageant la diffusion et l'application des nano-composites sur le marché des plastiques, et fournissant aux partenaires un instrument capable d'assurer la qualité des polymères nanostructurés produits, mais aussi de garantir la protection des hommes et de l'environnement et de susciter la demande de produits aux propriétés améliorées dans ce secteur industriel.



Toutes les fonctionnalités décrites dans le paragraphe 4 ont été implémentées dans cette application et sont disponibles en ligne à <http://dsstool.sudoenanodesk.europeanprojects.net/#> et directement accessible depuis le site Internet du projet <http://sudoenanodesk.europeanprojects.net>.

Les spécifications techniques de l'outil sont énumérées ci-dessous :

- Pour **back-end (ou partie serveur)** un logiciel « open source » a été utilisé pour développer le cadre web dynamique en **PHP [1]** langage appelé **CodeIgniter [2]** ;
- Le **Frontend (ou partie client)** a été programmé à l'aide de **JavaScript(AngularJS) [3]** **CSS [4]** et **HTML5[5]** ;
- Pour la **base de données, MySQL [6]** a été utilisée.

Dans les Figures 4 et 5, deux détails de l'application sont affichés. L'outil, comme cela est noté sur la Figure 4, est disponible en quatre langues différentes : anglais, espagnol, français et portugais.

La Figure 6 montre un exemple d'analyse effectuée à l'aide de l'outil NanoDESK. Le graphisme est très propre et l'interface facile à utiliser. L'utilisateur est appelé à répondre aux mêmes questions détaillées au paragraphe 3 et le résultat obtenu est une liste des nanomatériaux (jusqu'à trois) calculé par notre outil comme étant les meilleurs pour le produit et la propriété sélectionnés. Nous montrons aussi le classement des substances proposées afin de donner à l'utilisateur une idée de leur niveau d'adéquation.

interreg Sudoe   Go to project website paco

Dashboard  
**DSS tool**  
 QSAR models  
 Exposure models  
 Observatory  
 Data Mining Tool

### Decision Support System Tool

NanoDESK Platform

The NanoDESK Tool has been built to guide you in the selection of the best nanofiller for your polymeric matrix. Choose your industrial sector, tell us what you produce and which property you want to enhance in your polymer by means of nanotechnology. Thanks to a decision making process based on different factors like price, availability and hazardousness, with just one click the NanoDESK Tool will suggest you the best options in the market.

Select the industrial sector you are interested in  
 Step 1 Packaging

Select the property you want to enhance  
 Step 2 Barrier properties

Select the polymer matrix (optional)  
 Step 3 Polypropylene

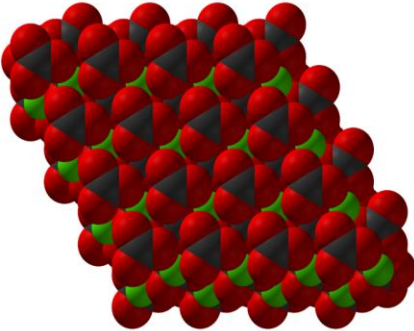
Select the product (optional)  
 Step 4 Packaging

**Simulate** **Clean**

---

Result

CaCO<sub>3</sub>



Calcium carbonate (CAS 471-34-1) also known as limestone, is a compound of a very abundant white-cinnamon powder in nature. It appears, forming rocks and is the main component of shells and skeletons of many organisms (eg molluscs, corals) or egg shells. It is the main cause of hard water, and is hardly soluble in pure water.  
 Within their applications, in agriculture, raising the pH of soils, the acids that favour the reduction of the aluminium concentration of these. It also provides better nitrogen fixation and increases nitrification and mineralization.

By CCoil, via Wikimedia Commons

ENMs list

#	ENM	Score
1	CaCO <sub>3</sub>	★★★★☆

Figure 4 : Exemple d'analyses effectuées à l'aide de l'outil d'aide à la décision NanoDESK.

## 5. CONCLUSIONS

Au cours de l'Action A1.3, nous avons construit un système décisionnel dans l'objectif d'aider les entreprises du secteur plastique à sélectionner le nanomatériau le plus approprié pour être intégré dans un polymère, en fonction de leurs besoins spécifiques propres. Les paramètres influant le plus sur cette sélection ont été définis, en tenant compte de la protection de la santé humaine et de l'environnement ainsi que de la fonction des différents matériaux sur le marché du plastique. Une hiérarchie a été assignée à ces paramètres. Le système, basé sur l'approche MCDA, a été inclus dans une application Microsoft EXCEL programmée en Visual Basic. Cet outil, simple à utiliser, a été intégré à la plateforme web NanoDESK pour aider les acteurs de la filière plastique à s'initier aux avantages apportés par les nanotechnologies, de façon sûre, simple et pratique.

---

[1] PHP : langage de script côté serveur conçu principalement pour le développement web, mais aussi utilisé comme un langage de programmation généraliste.

[2] <https://www.CodeIgniter.com/>

[3] JavaScript(AngularJS) : cadre d'application basé sur JavaScript open source web frontal.

[4] CSS (Cascading Style Sheets) : langage de feuille de style utilisé pour décrire la présentation d'un document écrit dans un langage de balisage.

[5] HTML5 : version cinq et actuelle d'un langage de balisage utilisé pour structurer et présenter le contenu sur le World Wide Web.

[6] MySQL : système de gestion de base de données relationnelle libre.