

**Les réponses sont à inscrire dans les documents-réponses( pages 8/9 à 9/9). Les deux études sont indépendantes.**

### **ETUDE 1 :**

**Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel : Une opération d'aménagement touristique durable**

#### **Pourquoi un tel projet ?**

« Le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel est une opération à vocation durable. Elle participe d'une grande ambition : **restaurer profondément le paysage qui sert d'écrin à l'un des hauts lieux de l'humanité.**

Ce chef-d'œuvre est aujourd'hui menacé. Au fil des siècles et des interventions humaines, la sédimentation s'est accentuée autour du Mont. Petit à petit, la mer recule, terre et prés salés progressent. Un parking de quinze hectares au pied des remparts dénature le paysage maritime depuis plus de 50 ans.

À l'horizon 2040, si rien n'avait été entrepris, le Mont-Saint-Michel n'aurait plus été une île.

Pour éviter cela, un nouveau barrage utilise depuis 2009 la force des eaux mêlées de la marée et du fleuve (le Couesnon). Les résultats sont déjà perceptibles autour du Mont.



**Figure 1 : barrage sur le Couesnon en action**

Grâce aux eaux de la marée et du Couesnon, les sédiments sont chassés au large. Le Mont retrouve peu à peu sa dimension maritime.

#### **Barrage sur le Couesnon**

Une étude a conduit à la solution analysée dans ce sujet. Elle consiste en la construction d'un barrage sur le Couesnon à l'entrée de la baie du Mont-Saint-Michel.

Cet ouvrage est constitué :

- d'une série de huit passes principales de 9 m de largeur ; ces huit passes identiques reçoivent le même équipement de vannes-secteurs mobiles actionnées en fonction de la marée pour permettre l'évacuation

progressive des sédiments accumulés au fil des années autour du Mont-Saint-Michel.

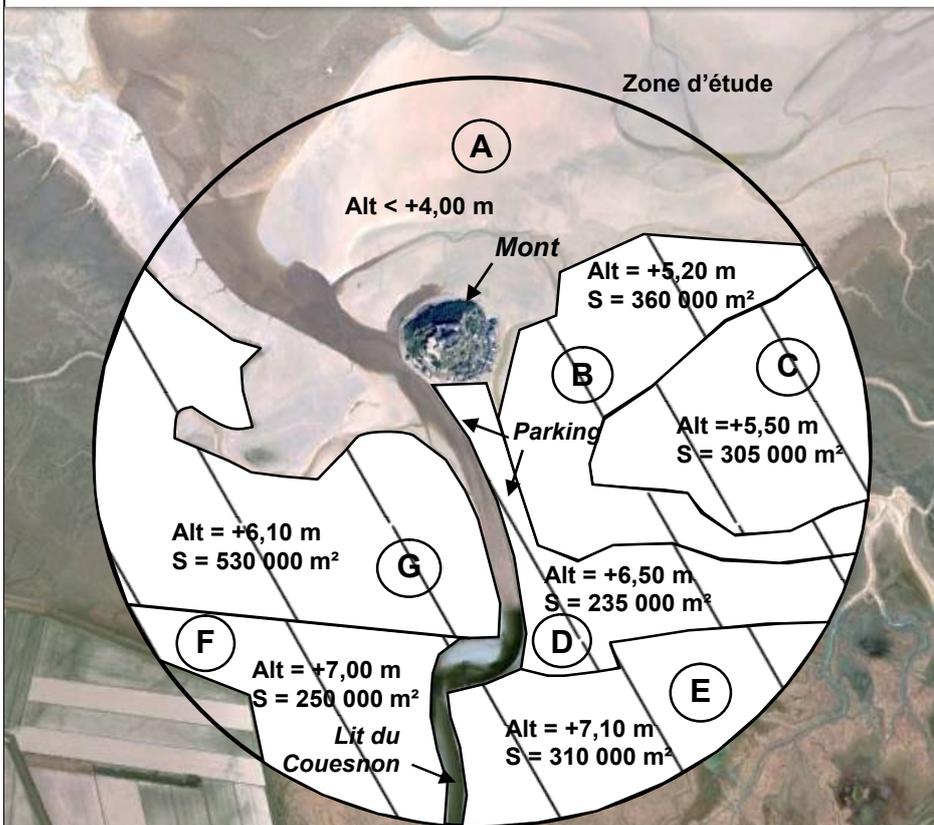
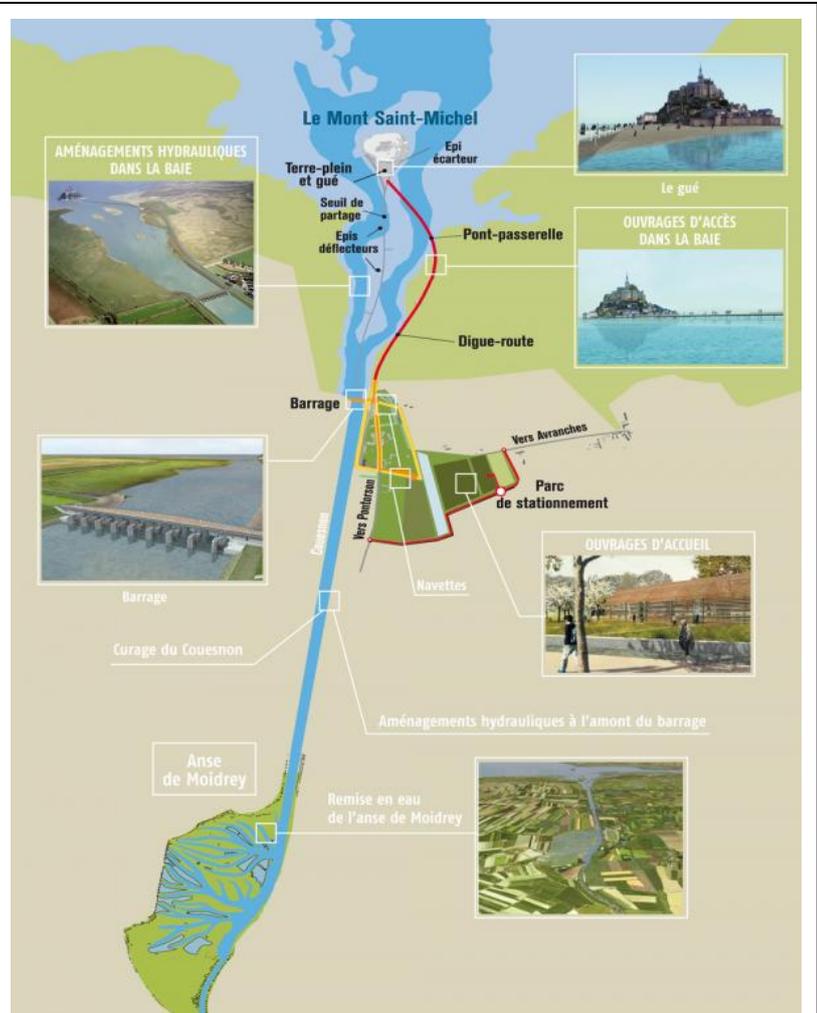
L'étude proposée ici permet de vérifier que le barrage, opérationnel depuis 2009, répond à l'objectif général de son cahier des charges : **Comment rendre puis pérenniser son caractère maritime au Mont-Saint-Michel, tout en respectant le paysage, la sécurité du site et les spécificités de la baie ?**

### 1. Réponses au besoin

Objectif de cette partie : analyser le besoin à l'origine de la conception du barrage et **comparer** la solution retenue avec une autre solution possible.

Avec une amplitude pouvant atteindre 16 mètres lors des plus grandes marées, le marnage observé sur la baie du Mont-Saint-Michel est parmi les plus importants du monde. La mer parcourt ainsi jusqu'à 15 kilomètres pour couvrir l'estran de la baie à la vitesse d'un cheval au galop comme le décrit la légende.

En 2009, l'insularité du Mont n'était plus observée qu'une cinquantaine de jour par an lorsque les coefficients des marées dépassaient 90. Pour revenir à la situation qui prévalait au début du XIX<sup>e</sup> siècle, il s'agissait de rendre au site son caractère insulaire au moins 180 fois par an, **soit à partir de marées avant un coefficient 70.**



Sur la figure de gauche, est représenté un découpage des zones autour du Mont St Michel. Y figurent l'altitude et la surface :

Ex :

**B : zone d'altitude 5,20 m et de surface 360 000m<sup>2</sup>.**

<b>Q1 : Déterminer</b> , en fonction des éléments donnés sur les pages 2 et 3, le niveau maximal de la cote des fonds qui permettra au Mont-Saint-Michel de retrouver son caractère insulaire au moins 180 jours par an. <b>En déduire</b> le volume de sédiment à déplacer pour satisfaire cette exigence dans la zone étudiée.	Coefficient de la marée	Hauteur d'eau référencée pour la pleine mer au Mont-Saint-Michel (en mètre)
	50	+ 3,95
	70	+ 5,10
	90	+ 6,25
	110	+ 7,40

### *Impact environnemental du projet*

Nous proposons de mener une réflexion sur l'impact environnemental de **deux solutions** envisageables pour répondre au projet de désensablement. Celui dû à une opération de **dragage d'envergure** d'une part puis celui engendré par la construction et par le fonctionnement du barrage d'autre part.

Ce n'est pas moins de **40 millions de m<sup>3</sup>** qu'il s'agit d'évacuer de la baie en vue de restituer au Mont son caractère maritime. **Une extraction mécanique de ce volume** a été jugée trop coûteuse et ne présentait pas l'avantage d'être une solution pérenne.

Le **projet actuel** retenu se décompose en quatre actions principales :

- **construire un barrage** capable de réactiver et de renforcer le travail de chasse des sédiments par le Couesnon.
- **remplacer la digue-route par un pont-passerelle** pour permettre une circulation des marées et du Couesnon autour du Mont-Saint-Michel.
- **déplacer** les parkings aménagés aux pieds du Mont-Saint-Michel vers le continent.
- **aménager** du lit du Couesnon par un **dragage de 1,5 million<sup>1</sup> de m<sup>3</sup>** afin de redonner au fleuve la capacité d'emporter les sédiments le plus au large.

### *Bilan carbone® de l'Ademe*

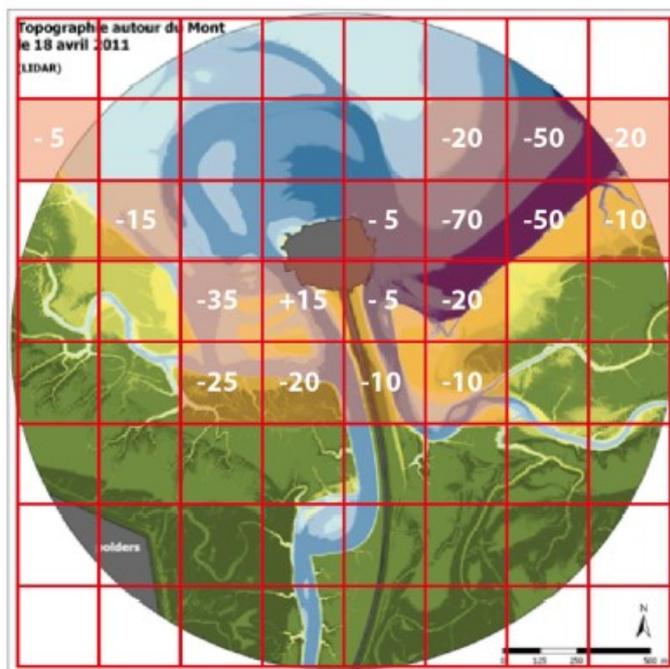
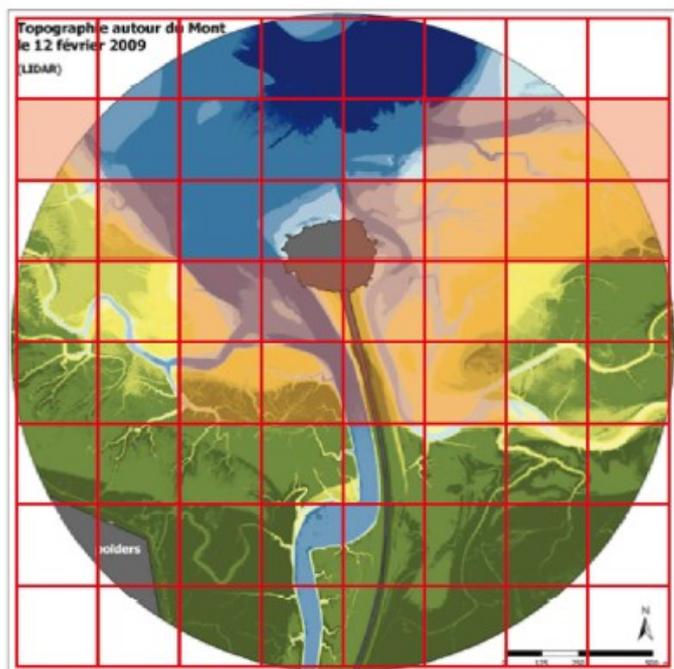
Il s'agit d'une méthode globale de quantification des émissions de gaz à effet de serre générées par une structure ou par une activité. Cette quantification s'exprime en équivalent carbone (éqC) ou en CO<sub>2</sub> sur le cycle de vie du produit (conception, construction, exploitation et démolition).

Éléments chiffrés utiles à l'estimation simplifiée du bilan carbone :

- caractéristiques du barrage et des aménagements annexes
  - **20 000 m<sup>3</sup> de béton,**
  - **3 000 tonnes d'aciers** (armatures et structures),
  - **600 MWh d'énergie électrique consommée annuellement ;**
- 1 kWh d'énergie électrique produit en France émet 0,025 kg éqC ;
- un mètre cube de béton mis en œuvre émet 90 kg éqC ;
- une tonne d'acier mis en œuvre émet 500 kg éqC ;
- le dragage et le traitement d'un m<sup>3</sup> de sédiment émet 0,8 kg éqC.

**Q2 : Estimer**, pour **un cycle de vie de 50 années**, l'empreinte carbone des **deux solutions** envisagées pour répondre au projet de désensablement du site. **Conclure** cette partie en indiquant d'autres raisons qui ont conduit à **retenir la solution du barrage.**

Ci-dessous 2 images satellite de la baie. Un quadrillage a été réalisé pour estimer l'efficacité de la solution du barrage. Chaque **carré** représente une surface de **280 m<sup>2</sup>**. Sont indiqués dans les carrés de gauche, les % de superficie passés sous la cote de 5,1 m : -5 indique que 5% de la surface du carré est passé sous les 5,1m, +5 indique que 5% de la surface du carré est passé au-dessus des 5,1m



**Q3 : Déterminer** la surface totale impactée par le barrage, le pourcentage moyen de gain de 2009 à 2011, estimer dans ces conditions, en quelle année l'objectif devrait être atteint.

## ETUDE 2:

Sur le véhicule électrique F-city, une étude assistée d'un logiciel de choix de matériaux montre qu'une pièce : le bras de la F-city doit appartenir à la famille des alliages d'aluminium pour fonderie.

**Problème posé :** vérifier si l'alliage d'aluminium (*AlSiM7Mg*) employé pour la fabrication (*moulage*) du bras est conforme ou non à quelques contraintes ciblées du cahier des charges (voir tableau ci-dessous).

*FC1 : résister au milieu extérieur*

*FC2 : tenir compte des impacts environnementaux*

*FC3 : être adapté au procédé de production*

Fonction	Sous fonction	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation	Indice de flexibilité
FC1	Résister à la corrosion	C1 : 10ans minimum	Corrosion protectrice	F1
FC2	Minimiser la masse	C2 : en regard aux conditions de résistance	$\rho < \text{fonte-acier (6.8-8.1)}$	F0
	Minimiser l'empreinte carbone globale	C3 : tendre vers 8kg/kg	+2kg/KG	F1
	Être recyclable	C4 : 100%		F0
FC3	Être adapté à la production en séries renouvelables moyennes	C5 : moulable	Retrait maxi :5%	F0
			2000pièces/mois	F0

*Indices de flexibilité : 0 impératif ; 1 un peu négociable ; 2 négociable ; 3 très négociable*

**Q4 : Compléter** le diagramme « radar » donné sur le document réponse à l'aide des **pages 5/11 et 6/11**.

Nom de la pièce	Matériaux	Masse	volume	Limite d'élasticité
Bras arrière	<b>AlSiM7Mg</b>	4.0795 kg	0.0015222 m <sup>3</sup>	2.1e+008 N/m <sup>2</sup>

### **Alliages d'aluminium pour fonderie**

Presque tous les alliages d'aluminium pour la fonderie contiennent de 5 à 22 % de silicium (Si) – Le silicium rend l'alliage plus fluide de telle sorte qu'il remplit le moule et reproduit les détails fins même dans des sections peu épaisses. En ajoutant en plus du cuivre (Cu) ou du magnésium (Mg), on obtient des alliages qui se durcissent avec le temps. On utilise les alliages simples Al-Si pour les pièces de marine, la quincaillerie et les ustensiles de cuisine à cause de leur **bonne résistance à la corrosion** par l'eau salée, **même si elle est moins bonne que l'inox** ; on les utilise pour des pistons et la paroi des cylindres à cause de leur bonne conductivité thermique et de leur coefficient d'expansion faible. D'une manière générale, les alliages d'aluminium pour la fonderie ont une ductilité et une tenue mécanique plus faible que les alliages utilisés pour le forgeage qui durcissent avec le temps – peu ont une résistance à la traction supérieure à 350 MPa. Ils sont très adaptés à la production en grandes séries.

## Composition :

Al + 5 - 22% Si, parfois avec un peu de Cu, Mg ou Zn pour permettre le durcissement dans le temps.

Caractéristique.	Alu	Fonte
Masse volumique	2 700 kg/m <sup>3</sup>	7 800 kg/m <sup>3</sup>
Prix	1800 €/tonne	590€/tonne
Limite élastique	220 MPa	83 à 170 MPa
Coulabilité (aptitude à être moulé) (1 mauvais, 5 excellent)	5	5
Usinabilité	5	5
Énergie intrinsèque, production primaire	220 MJ/kg	44 MJ/kg
Empreinte CO2, production primaire	13 kg/kg	1,5 kg/kg
Énergie de moulage	2.5 MJ/kg	12.5 MJ/kg
Energie d'usinage conventionnel (par unité de poids enlevée)	5 MJ/kg	12 MJ/kg
Empreinte CO2 moulage	0,13 kg/kg	0,3 kg/kg
Usinage conventionnel CO2 (par unité de poids enlevée)	0.47 kg/kg	1kg/kg
Recyclable	100%	100%

Le minerai d'aluminium est abondant. Il faut beaucoup d'énergie pour en extraire l'aluminium. Il est facilement recyclé.

Avant d'adopter l'alliage d'aluminium comme matériaux pour la fabrication du bras arrière, une étude comparative d'impacts sur l'environnement (ACV) entre un bras en fonte et un en aluminium a été faite

### Comparaison des impacts sur l'environnement en fonction du matériau utilisé :

#### 1. Matériau: Fonte ductile

Masse : 10 807.64 g

Type de fabrication: Moulage au sable et usinage

#### Impact sur l'environnement (extrait)

##### Empreinte carbone



30.53 kg CO<sub>2</sub>

Matériau:	3.38 kg CO <sub>2</sub>
Fabrication:	18.86 kg CO <sub>2</sub>
Utilisation:	1.03 kg CO <sub>2</sub>
Fin de vie:	7.26 kg CO <sub>2</sub>

##### Énergie totale consommée



313.30 MJ

Matériau:	103.06 MJ
Fabrication:	190.25 MJ
Utilisation:	14.58 MJ
Fin de vie:	5.41 MJ

#### 2. Matériau: AlSi7Mg

Masse : 4 109.95 g

Type de fabrication: Moulage au sable et usinage

#### Impact sur l'environnement (extrait)

##### Empreinte carbone



61.06 kg CO<sub>2</sub>

Matériau:	56.10 kg CO <sub>2</sub>
Fabrication:	3.25 kg CO <sub>2</sub>
Utilisation:	0.39 kg CO <sub>2</sub>
Fin de vie:	1.31 kg CO <sub>2</sub>

##### Énergie totale consommée



769.60 MJ

Matériau:	701.15 MJ
Fabrication:	61.57 MJ
Utilisation:	5.54 MJ
Fin de vie:	1.34 MJ



**Q5 : Analyser les informations données page 7/11, pour évaluer la pertinence du choix de l'aluminium pour cette pièce, le bras de la F-city, au regard du cahier des charges.**

**Nom :**

**Q1 :** Quel est le coefficient de marée dont on doit tenir compte ? **70**

Quelle est la hauteur d'eau à ce moment là ? **5,1m**

**Compléter** le tableau ci-dessous :

Zone	Surface (m <sup>2</sup> )	Niveau initial du sol(m)	Niveau final du sol pour qu'il soit juste recouvert d'eau (m)	Hauteur de terre à enlever	Volume à extraire (m <sup>3</sup> )
<b>A</b>	<b>X</b>	<b>&lt; 4</b>	Recouvert d'eau sans rien faire	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>B</b>	<b>360 000</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>0,1</b>	<b>36 000</b>
<b>C</b>	<b>305 000</b>	<b>5,5</b>	<b>5,1</b>	<b>0,4</b>	<b>122 000</b>
<b>D</b>	<b>235 000</b>	<b>6,5</b>	<b>5,1</b>	<b>1,4</b>	<b>329 000</b>
<b>E</b>	<b>310 000</b>	<b>7,1</b>	<b>5,1</b>	<b>2</b>	<b>620 000</b>
<b>F</b>	<b>250 000</b>	<b>7,0</b>	<b>5,1</b>	<b>1,9</b>	<b>475 000</b>
<b>G</b>	<b>530 000</b>	<b>6,1</b>	<b>5,1</b>	<b>1</b>	<b>530 000</b>
<b>Total à extraire :</b>					<b>2 112 000 m<sup>3</sup></b>

**Q2 :** Quantification des émissions de gaz à effet de serre si désensablage mécanique :

$$40 \text{ millions de } m^3 \text{ à } 0,8 \text{ kgéqC par } m^3 = 320 \cdot 10^6 \text{ kgéqC} = 32 \text{ 000 tonnes éqC}$$

Quantification des émissions de gaz à effet de serre si désensablage par barrage :

$$20 \text{ 000 } m^3 \text{ de béton } \times 90 \text{ kgéqC}$$

$$+ 3 \text{ 000 tonnes d'acier } \times 500 \text{ kgéqC}$$

$$+ 600 \cdot 10^3 \text{ KWh } \times 50 \times 0,025 \text{ kgéqC}$$

$$+ 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \times 0,8 \text{ kgéqC} = 5,25 \cdot 10^6 \text{ kgéqC} / 1 = 5 \text{ 250 tonnes éqC}$$

**Conclusion :** Une extraction d'envergure de l'excès de sédiments par des moyens mécaniques est une solution technique viable mais non pérenne. Ce procédé ferait en outre subir un traumatisme supplémentaire sur l'écosystème de la baie. Avec la solution du barrage de chasse, l'homme va rendre à la nature l'initiative de modeler le paysage. Cette restitution est en parfaite adéquation avec les prérogatives environnementales recherchées dans ce projet.

**Q3 : Déterminer** la surface totale impactée par l'étude :

$$17 \times 280 \text{ m}^2 = 4\,760 \text{ m}^2$$

$$\text{ou } 16 \times 280 \text{ m}^2 = 4\,480 \text{ m}^2$$

**Déterminer** le pourcentage moyen de gain de 2009 à 2011 : *(une case n'est pas visible sur le tirage)*

$$((-5)-20-50-20-15-5-70-50-10-35+15-5-20-25-20-10-10)/17 (/16) = -20,9\% \quad (\text{ou } 21,9\%)$$

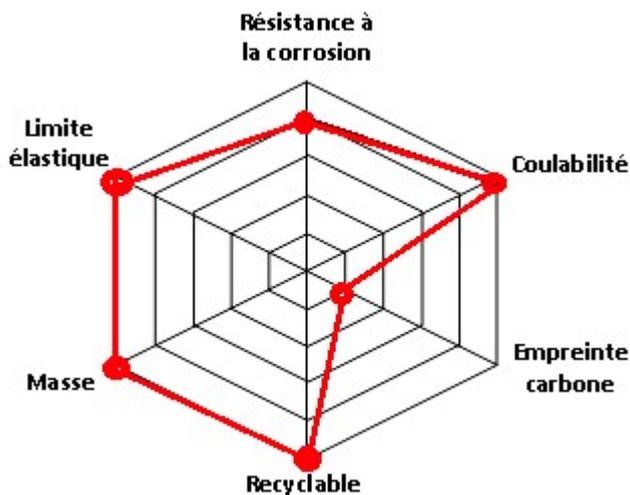
**Estimer** dans ces conditions, en quelle année l'objectif devrait être atteint :

*Il a fallu 2 ans pour 20% donc 10 ans pour 100% donc en 2019.*

**Q4 : Compléter** le diagramme « radar » :

Echelle de notation de 0 à 5 du centre vers l'extérieur du diagramme

Notes- appréciation	0 - mauvais	1 - faible	2 - médiocre	3- acceptable	4 - bon	5 - excellent
---------------------	-------------	------------	--------------	---------------	---------	---------------



**Conclusion :**

*Empreinte carbone très médiocre sinon tous les autres critères sont bons voire très bons /1*

$$05 \times 6 = 3$$

**Q5. Analyser** les résultats de l'empreinte CO<sub>2</sub> et l'énergie totale consommée des deux cas en répondant aux questions suivantes :

Le choix de l'alliage d'aluminium vous paraît-il justifié au regard des résultats ? Pourquoi ?

*Non, le choix de cet alliage ne semble pas justifié tant du point de vue de l'empreinte carbone que de l'énergie totale consommée.*

Quelle est la principale raison qui a contraint le concepteur à utiliser un alliage d'aluminium, au regard du cahier des charges ?

*La principale raison est la masse (poids) du bras.*