

Recyclage des composites carbone

« Aviation et Environnement »
II^e Colloque International
7 février 2013

A vertical banner on the left side of the slide features a background of a carbon fiber weave pattern in shades of orange and yellow. The text 'Think COMPOSITES' is written vertically in a stylized, outlined font. 'Think' is in a cursive script, while 'COMPOSITES' is in a bold, blocky, outlined font.

Think
COMPOSITES

Agenda

- Aperçu de la situation actuelle
 - ❖ Automobile
 - ❖ Marine
 - ❖ Aéronautique
- Solutions existantes
- Perspectives
- Conclusions

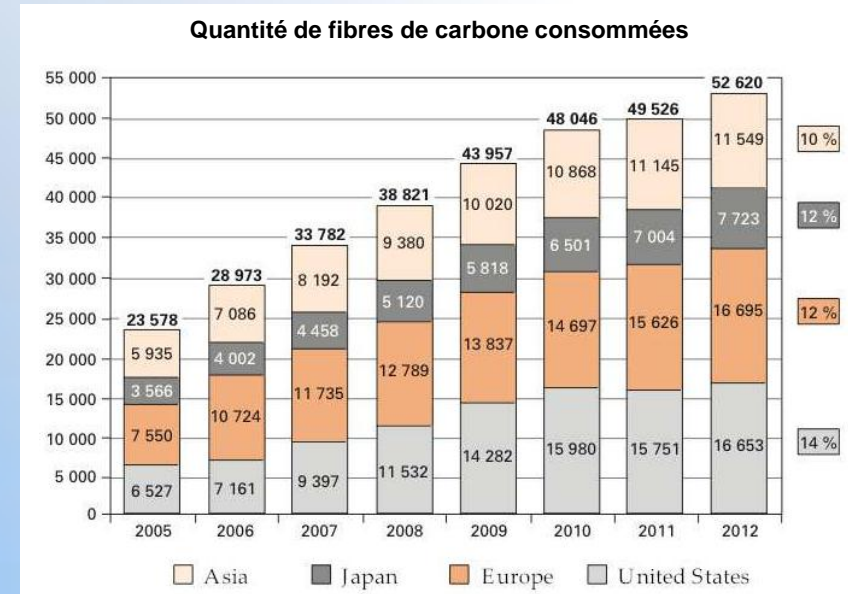
Agenda

- Aperçu de la situation actuelle
 - ❖ Automobile
 - ❖ Marine
 - ❖ Aéronautique
- Solutions existantes
- Perspectives
- Conclusions

Situation actuelle

Tendances générales :

- Augmentation de la consommation de matériaux composites à base de fibres de carbone
 - La fabrication de fibre de carbone est très consommatrice d'énergie
 - Les premières générations d'avions et de bateaux contenant des composites atteindront leur fin de vie dans les 10 prochaines années
 - Législations de plus en plus contraignantes (surtout en Europe) sur la gestion des déchets et leur recyclabilité
- **Besoin de solutions fiables et durables pour la gestion des déchets composites**



Sources de déchets composites

- Fin de vie de produits contenant des composites (de la pièce de base à la structure complexe multi-matériaux : avion, véhicule, ...)

Mais également

- Chutes de production (usinage, découpe, ...)
- Produits non-conformes
- Problèmes de durée de vie des matières premières (résines, pré-imprégnés, ...)
- ...

Augmentation attendue de la proportion de matériaux composites dans les futures générations de véhicules (gain de poids)

La législation européenne instaure des quotas de recyclabilité dans l'automobile. En 2015, ces objectifs seront de :

- 85 % de matériaux recyclables
- 95 % de matériaux valorisables

Situation actuelle :

- Les composites utilisés dans l'automobile sont principalement à base de fibre de verre
- La fibre de verre recyclée coûte plus cher que la fibre de verre neuve ... mais est de plus en plus utilisée à cause de la législation

Situation future :

- **Intégration du facteur recyclabilité dans le design initial**
- **Augmentation du ratio de matériaux recyclés**
- **Étiquetage des différents type de matériaux pour un tri des déchets plus efficace**

Exemple : Partenariat entre Boeing et BMW pour la recherche sur le recyclage des fibres de carbone (décembre 2012)

→ Va permettre à BMW d'utiliser le matériau en améliorant son ratio de recyclabilité

Estimation en France :

58 % des bateaux de plaisance construits avant 1990

Âge moyen de ces bateaux : 23 ans

→ Le nombre de bateau en fin de vie va augmenter significativement durant les 5 à 10 prochaines années

Pas de réelle législation sur la gestion des bateaux en fin de vie

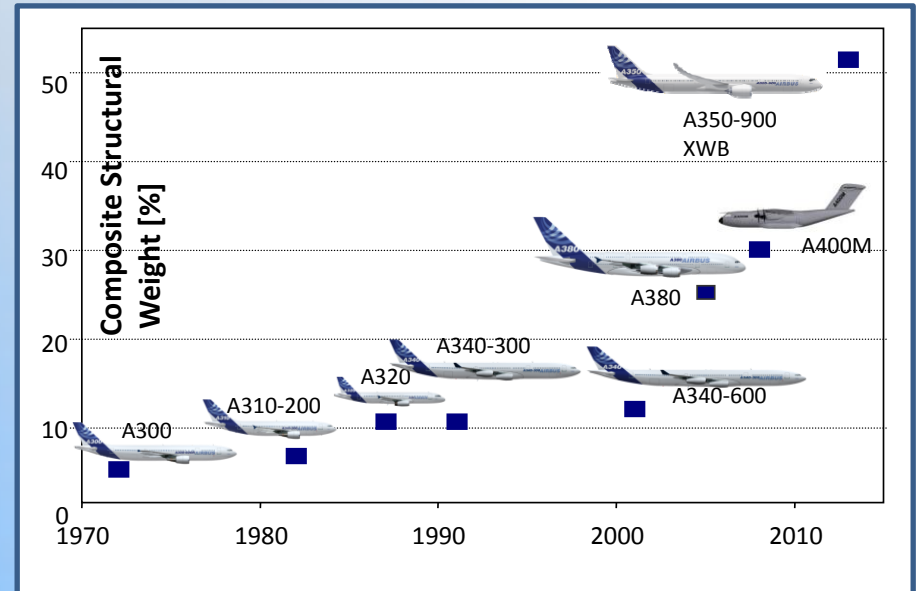
- Pas de contrôle technique
- Pas d'aide financière au démantèlement (et faible valorisation économique des déchets générés)
- Pas de réel encadrement légal sur l'abandon de bateau

→ environ 374 000 bateaux en attente de démantèlement en France

→ **Besoin d'un programme de gestion des déchets aussi bien technique que légal**

Industrie aéronautique

- Augmentation du ratio de composites carbone dans les avions
- Augmentation des cadences de production



- Premières générations d'avions contenant des composites atteignant leur fin de vie : 12 000 appareils à démanteler dans les 20 prochaines années

→ Augmentation à la fois des déchets composites de production et de fin de vie

Agenda

- Aperçu de la situation actuelle
 - ❖ Automobile
 - ❖ Marine
 - ❖ Aéronautique
- Solutions existantes
- Perspectives
- Conclusions

Solutions existantes (classées par potentiel de recyclage croissant)

- **Enfouissement :**

- Limité, voire proscrit dans les législations à venir
 - Aucune valorisation

- **Incinération :**

- Génération possible de gaz toxiques durant l'opération
 - Autorisations limitées
 - Aucune valorisation

→ Ces solutions ne peuvent pas être considérées comme durables

- **Incinération avec récupération d'énergie**
par exemple en cimenterie

Intéressant financièrement

Procédé continu

Valorisation énergétique uniquement

- **Procédés avec récupération de fibre**

par exemple : pyrolyse, décomposition catalytique, crackage thermique, ...

Valorisation de la fibre sous forme de fibres courtes ou semi-longues
(avec des propriétés mécaniques dégradées)

Pas de valorisation de la résine

- **Principe**

Traitement thermique des déchets sous conditions de température et pression contrôlées : dégradation de la résine et du sizing, récupération de la fibre

- **Projets / Développements en cours**

États-Unis : Aircraft Fleet Recycling Association (AFRA, **Boeing**)

Europe : Process for Advanced Management of End-of-Life Aircraft (PAMELA, **Airbus**)

Japon : Recycling Committee of the Japan Carbon Fiber Manufacturers Association (JCMA, **Toray / Toho-Tenax / Mitsubishi Rayon**)

- **Performance moyenne estimée**

Coût : 70 % du prix de la fibre neuve

Environnement : 5 % de l'énergie nécessaire à la fabrication de la fibre neuve

- **Valorisation de la fibre**

Fibres souvent obtenues sous forme de « peluche »

→ Peuvent être valorisées telles quelles (fibres coupées, SMC, non-tissé, ...) ou après une étape de réalignement (tissu, UD, ...)



- **Propriétés mécaniques dégradées**

Influence importante des conditions opératoires sur la perte de performances

Nécessité de recycler dans des applications moins exigeantes (pièces non-structurelles d'avion, produits industriels, ...)

Pyrolyse

Applications industrielles du procédé de pyrolyse en Europe :

- **ELG Carbon Fibre Ltd.**

(anciennement *Recycled Carbon Fibre Ltd.*)

West Midlands, Royaume-Uni

2000 t de déchets composite carbone par an



Entreprise impliquée dans le recyclage des chutes de production du Boeing 787 en pièces non-structurelles et en applications sport et loisir telles que des pagaies de kayak

- **CFK Valley Stade Recycling GmbH**

Hambourg, Allemagne



Solutions de traitement

- **Procédé avec récupération de fibre et de résine : solvolyse**

Utilisation d'un solvant (eau, méthanol, ...) en conditions super-critiques

Séparation fibre / matrice par différence de solubilité dans le solvant

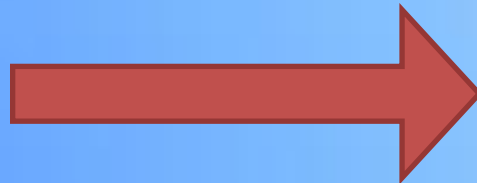
Dépolymérisation de la résine

Valorisation de la fibre sous forme de fibres courtes ou semi-longues

Valorisation de la résine sous forme de monomères ou de composés organiques courts

Pas encore à l'échelle industrielle

**Déchets
composite**



Eau super-critique

Fibre



Phase liquide

- **Valorisation de la résine**

Rupture des liaisons chimiques des polymères

- Mélange de différents produits chimiques (monomères de départ, mais également divers composés organiques courts en fonction des conditions opératoires)
- Nécessité d'une étape de séparation pour une valorisation efficace
- Impact sur le coût

- **Valorisation de la fibre**

Les propriétés mécaniques semblent moins dégradées qu'avec les autres procédés (type pyrolyse)

- A valider à l'échelle industrielle

Projets sur le recyclage de composites carbone auxquels Toray Carbon Fibers Europe a participé :

- **RECYCOMP 2** (2004-2005, Compositec) : 1ers essais de valorisation de déchets composites (co-combustion, incorporation dans des TP, broyage, bains de sels fondus)
Partenaires : Ashland Polyester, Corima, Cray Valley, Italdry, MCR/Inoplast, Plastic Omnium, Sadac, Saint-Gobain Vetrotex International, SDE/Schneider Electric, Toray CFE
- **RECYCARB** (2005-2006, Compositec) : estimer le montant des déchets composites (en Europe) et étudier des solutions de recyclage
Partenaires : Airbus France, Corima, Daher Lhotellier, EADS CCR, Hexcel Composites, Hexcel Reinforcement, Porcher Industries, Toray CFE, ARAMM, JEC

- **RECCO** (2009-2012, Airbus) : mise en place d'une filière de recyclage des composites carbone par solvolyse
Partenaires : Airbus, EADS Astrium, Uni. Bordeaux, SNECMA PS, Innoveox, ADEME, Gaches Chimie, Toray CFE
- **FENICS** (2012-..., Airbus) : Suite de RECCO, développer une filière industrielle française de fabrication de semi-produits finis à base de fibres de carbone recyclées via le procédé de solvolyse
Attention : données à compléter, projet en restructuration
→ Nouveau projet focalisé uniquement sur la valorisation en fibres courtes
- Collaboration à deux développements menés par le Centre RAPSODEE (École des Mines d'Albi) sur les procédés de :
 - ❖ **Vapo-thermolyse** (thèse soutenue en décembre 2012)
 - ❖ **Solvolyse** (travaux en cours)

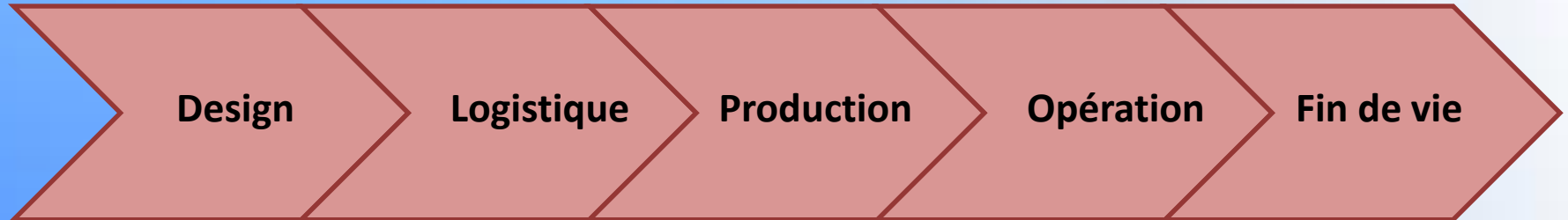
Agenda

- Aperçu de la situation actuelle
 - ❖ Automobile
 - ❖ Marine
 - ❖ Aéronautique
- Solutions existantes
- Perspectives
- Conclusions

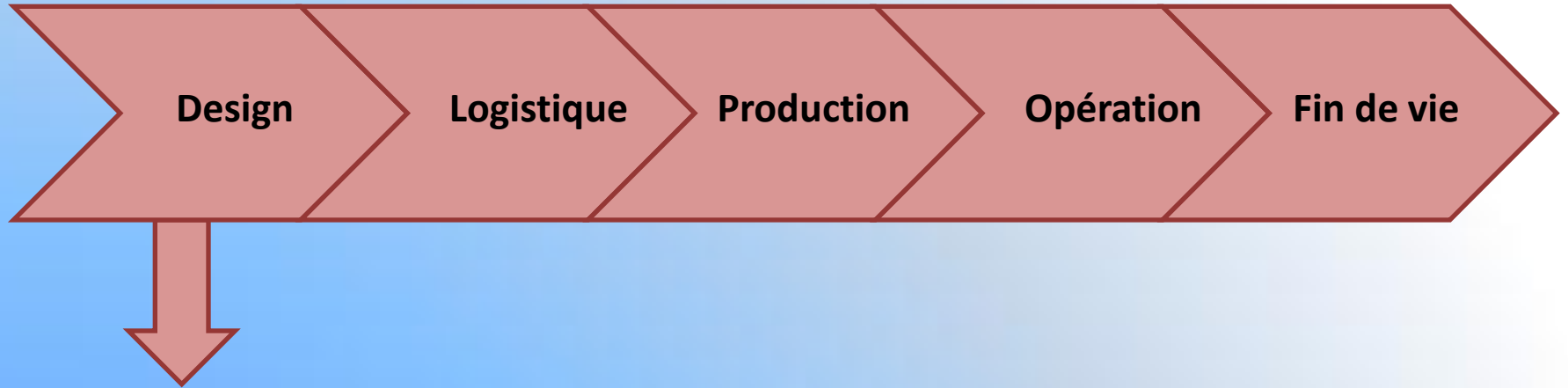
Perspectives

Comment améliorer la recyclabilité des matériaux composites à base de fibre de carbone ?

→ Par l'intégration du concept de recyclage dans chacune des étapes du cycle de vie du produit



Perspectives



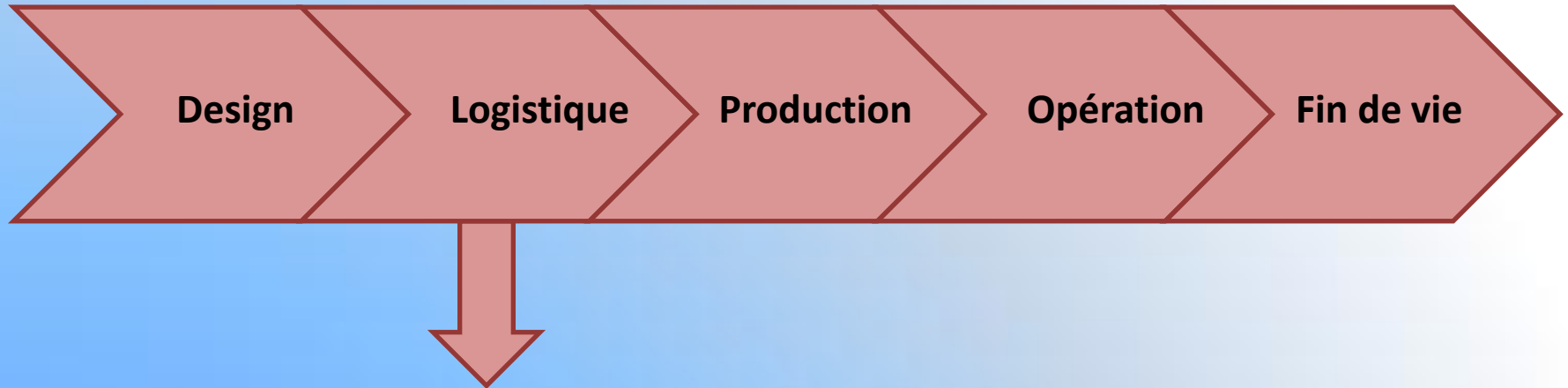
Sélection des matériaux en prenant en considération les solutions existantes de recyclage

ou

Mise en place de la filière de recyclage en parallèle du développement des matériaux

→ Solutions globales (multi-sectorielles), combinaisons de plusieurs procédés de recyclage, intégration de l'expérience et du réseau des fournisseurs de matières premières, ...

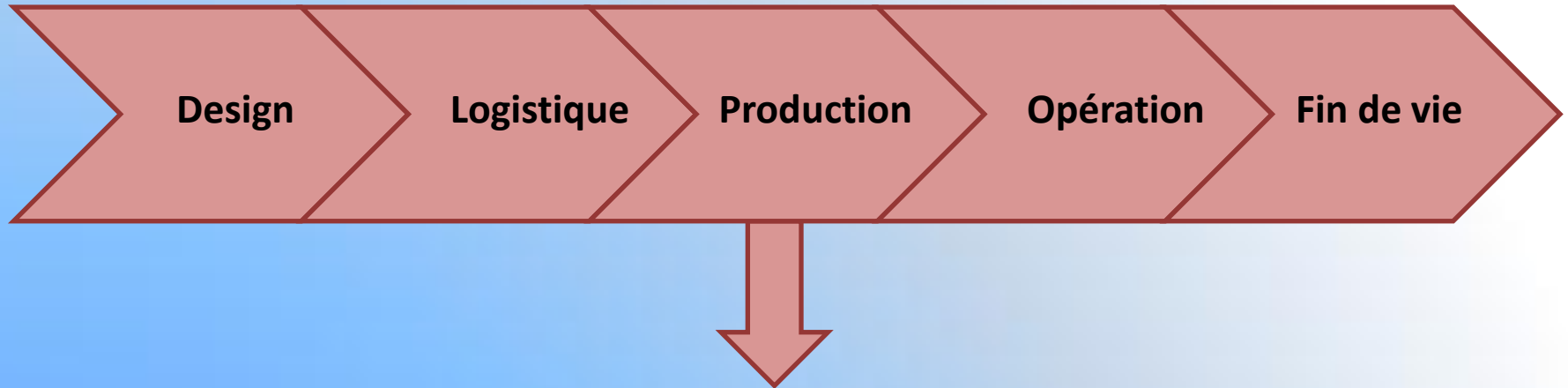
Perspectives



Amélioration de la chaîne d'approvisionnement pour réduire les pertes de matières premières (par ex. les problèmes de durées et températures de stockage des pré-imprégnés)

Intégration dans le flux de matières premières d'un ratio de pièces et / ou de matériaux recyclés (que ce soit du procédé de fabrication concerné ou d'un autre secteur industriel)

Perspectives



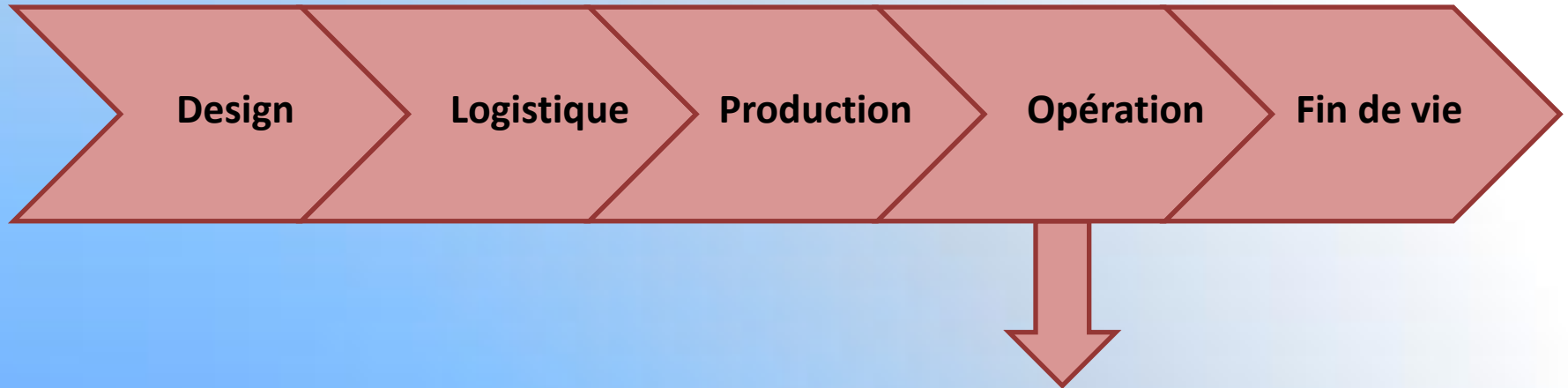
Amélioration des procédés de fabrication pour réduire les quantités de :

- Chutes de production
- Produits non-conformes

Étiquetage des pièces produites pour faciliter le tri des déchets (recyclage plus efficace)

Recyclage interne des produits non-conformes intégré au procédé de fabrication

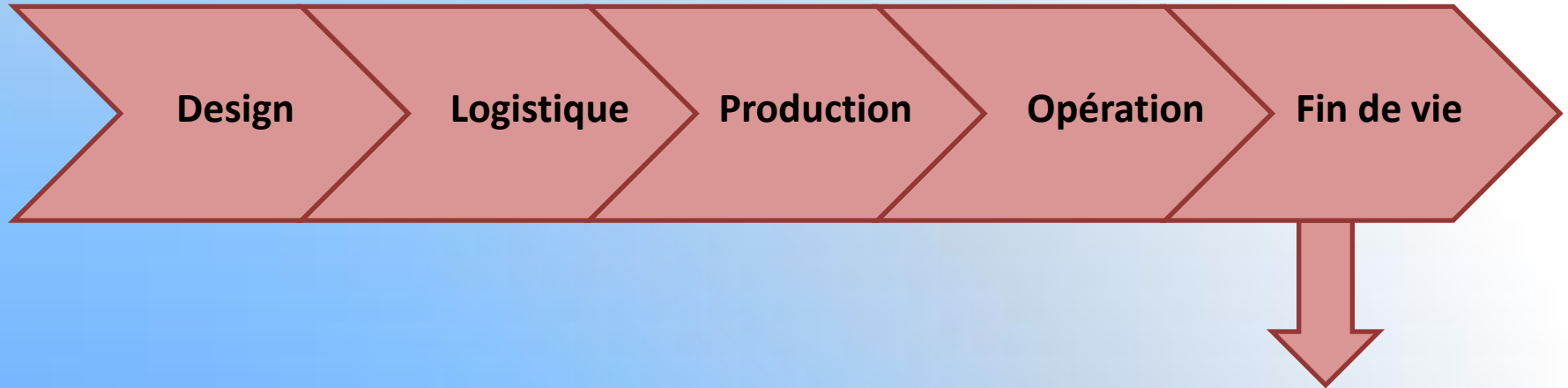
Perspectives



Opérations améliorées pour réduire :

- Le remplacement de pièces
- La réparation de pièces consommant des matériaux composites

Perspectives



Meilleure valorisation par l'amélioration de :

- La collecte
- Le démantèlement
- Le tri
- Les procédés de recyclage

Agenda

- Aperçu de la situation actuelle
 - ❖ Automobile
 - ❖ Marine
 - ❖ Aéronautique
- Solutions existantes
- Perspectives
- Conclusions

Conclusions

Besoin grandissant de solutions de recyclage des matériaux composites à base de fibres de carbone

→ Le recyclage va devenir un sujet clé pour l'avenir de l'industrie des composites

Des solutions existent, mais toujours besoin d'amélioration en terme de :

- Meilleure valorisation
- Quantités traitables (passage à l'échelle industrielle)

L'intégration du concept de recyclage à chaque étape du cycle de vie du produit (du design à la gestion de fin de vie) est la solution pour développer des filières de recyclage fiables, durables et économiquement viables.

Fin

Merci pour votre attention

Vos commentaires et questions sont les bienvenus

Toray Carbon Fibers Europe : www.toray-cfe.com