

Comparaison de différentes armatures utilisées pour le renforcement du béton

V. Périer, S. Chataigner, A. Pruvost

IFSTTAR, Centre de Nantes, Route de Bouaye, 44 344 BOUGUENAIS

26-27 Mars 2011



GC'2013
Paris, 26 et 27 mars



IFSTTAR

Plan



- Introduction
- Dimensionnement
 - Choix de la structure et hypothèses
 - Résultats du dimensionnement conformément à l'Eurocode et à l'ACI
 - Possibilités d'optimisation
- Analyse du cycle de vie
 - Objectifs et champ d'étude
 - Frontières et inventaire
 - Evaluation des impacts et interprétation
 - Etude de sensibilité
 - Influence de l'optimisation et du béton
- Conclusion



Introduction

- Parc d'ouvrages d'art en béton armé important: principales pathologies = corrosion des armatures
 - Protection des armatures par le béton d'enrobage (épaisseur, qualité du béton, ...)
 - Choix des armatures (traitement de surface, nouveaux matériaux, ...)
- Etude portant sur l'utilisation de nouvelles armatures:
 - Inox
 - Composites
- Comparaison:
 - D'un point de vue technique (quantité d'armatures à utiliser)
 - D'un point de vue environnemental (ACV de la fabrication de la poutre)



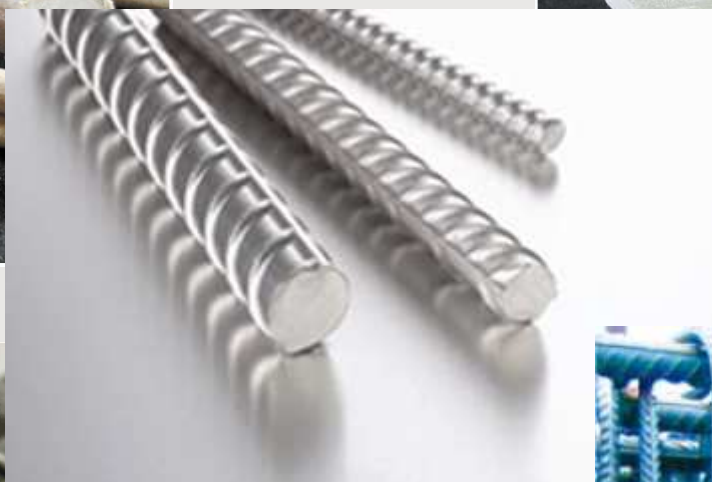
Armatures étudiées



Fibre d'aramide



Fibre de verre



Inox



Fibre de carbone



Acier

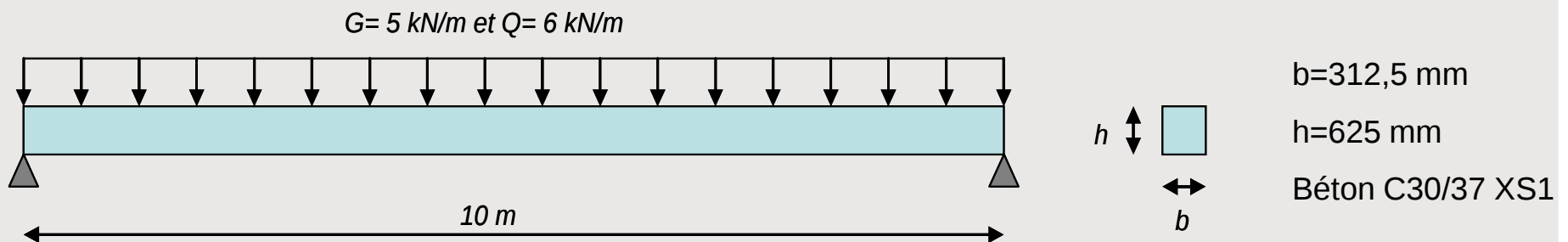


Dimensionnement



Choix de la structure et hypothèses

- Dimensionnement d'une poutre en béton armé avec différents types d'armatures selon l'Eurocode 2 pour l'acier (recommandations du guide de Cimbeton pour les armatures en acier inoxydable), et l'ACI pour les armatures composites



Matériaux	Composite à fibres aramide	Composite à fibres de verre	Composite à fibres de carbone	Acier	Inox
Module d'Young longitudinal (GPa)	68,6	45,4	130	200	200
Contrainte ultime en traction (MPa)	1100	597	2300	500	500
Déformation maximale en traction longitudinale	0,016	0,013	0,018	0,022	0,022

- Principales différences entre l'utilisation d'armatures acier et d'armatures composites pour le renforcement du béton armé:
 - Comportement élastique fragile des armatures composites = sur-renforcement des structures et coefficient de sécurité plus important
 - Faible résistance au cisaillement et à la compression des armatures composites = non prises en compte de leur contribution en compression et au cisaillement par effet goujon
 - Insensibilité à la corrosion des armatures composites
 - = justification de l'épaisseur d'enrobage seulement pour la diffusion des efforts de l'armature au béton ou pour le comportement à haute température de la structure
 - = justification de la largeur limite de fissuration seulement pour des raisons esthétiques, de confort ou des préconisations en ce qui concerne le gel-dégel
 - Ajout d'un coefficient de sécurité sur les armatures composites lié au faible retour d'expérience (C_e)



Résultats du dimensionnement conformément à l'Eurocode et à l'ACI

- Quantité d'armatures composites plus importante que celle d'acier en volume (ELS dimensionnant, approche conservative, ...)
- Mais densité 3 à 4 fois plus faible (facilité de mise en œuvre): masse totale du renforcement équivalente.

<i>Dimensionnement en flexion</i>	<i>Composite à fibres aramide</i>	<i>Composite à fibres de verre</i>	<i>Composite à fibres de carbone</i>	<i>Acier</i>	<i>Inox</i>
<i>Section nécessaire (mm²)</i>	4071	6381	2212	1221	1180
<i>Section réelle (mm²)</i>	4071	6381	2212	1244	1244
<i>Taux d'armatures ρ en %</i>	2,29	3,58	1,24	0,71	0,71
<i>Diamètre des armatures, en mm</i>	24	25	16	12	12
<i>Nombre d'armatures</i>	(4 ;5)	(6 ;7)	(5 ;6)	(5 ;6)	(5 ;6)
<i>Espacement longitudinal, en mm</i>	42	11	70	55	55
<i>Caractère dimensionnant</i>	Fissuration	Fissuration	Fissuration	ELU	ELU

Résultats du dimensionnement conformément à l'Eurocode et à l'ACI

<i>Dimensionnement à l'effort tranchant</i>	<i>Composite à fibres aramide</i>	<i>Composite à fibres de verre</i>	<i>Composite à fibres de carbone</i>	<i>Acier</i>	<i>Inox</i>
<i>Diamètre des armatures utilisées, en mm</i>	7	7	7	7	7
<i>Nombre de cadres nécessaires</i>	36	52	36	24	24
<i>Espacement, en mm</i>	280	190	290	420	430



Possibilités d'optimisation

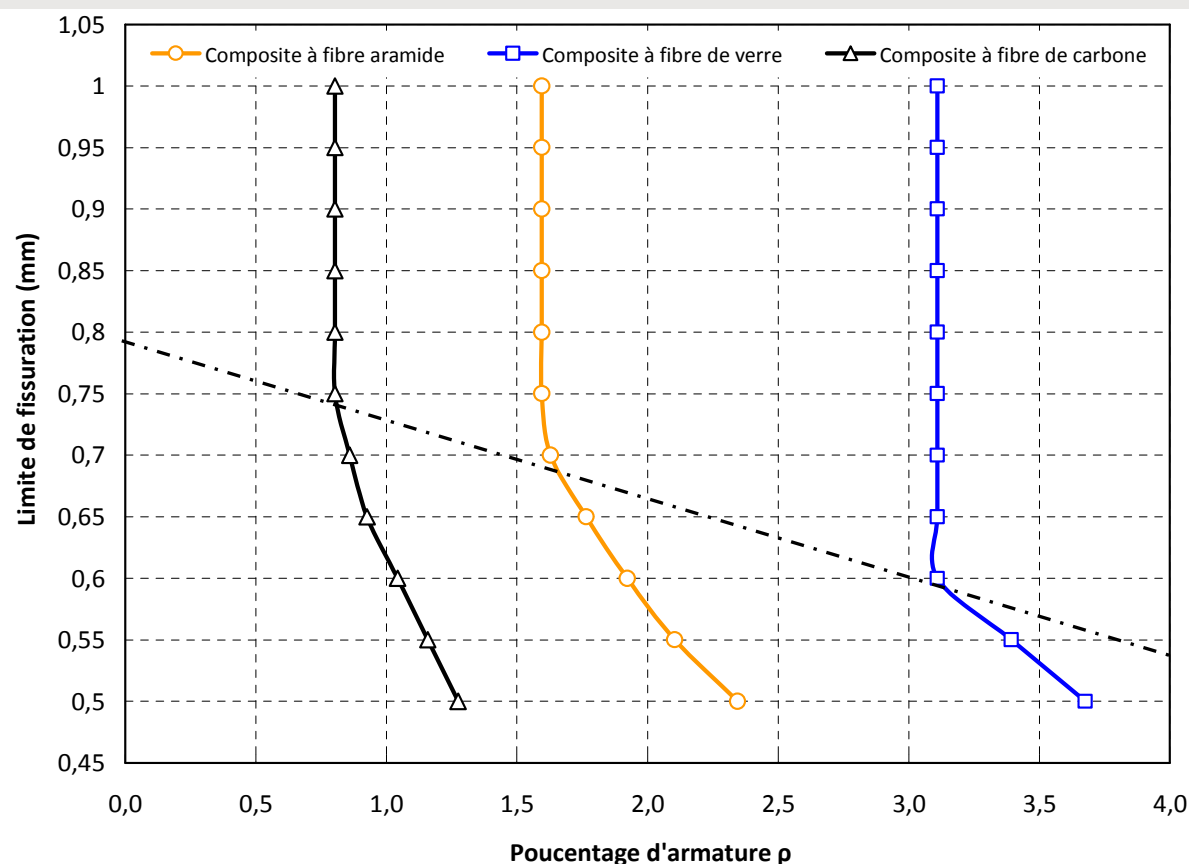
- Augmentation des limites en service (Ouverture de fissure, Flèche)

Dans notre étude, critère de 0,6 mm adopté pour la poutre à armatures composite à fibres de verre

- Réduction des épaisseurs d'enrobage

- Diminution de la qualité du béton (indicateurs de l'approche performantielle adaptés au cas des armatures acier classiques)

Gains en ce qui concerne le bilan environnemental

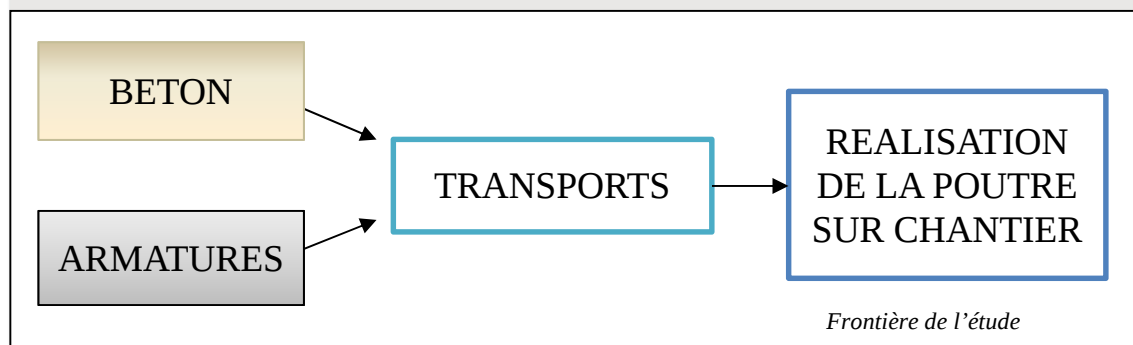




Analyse du cycle de vie



Objectifs et champ d'étude



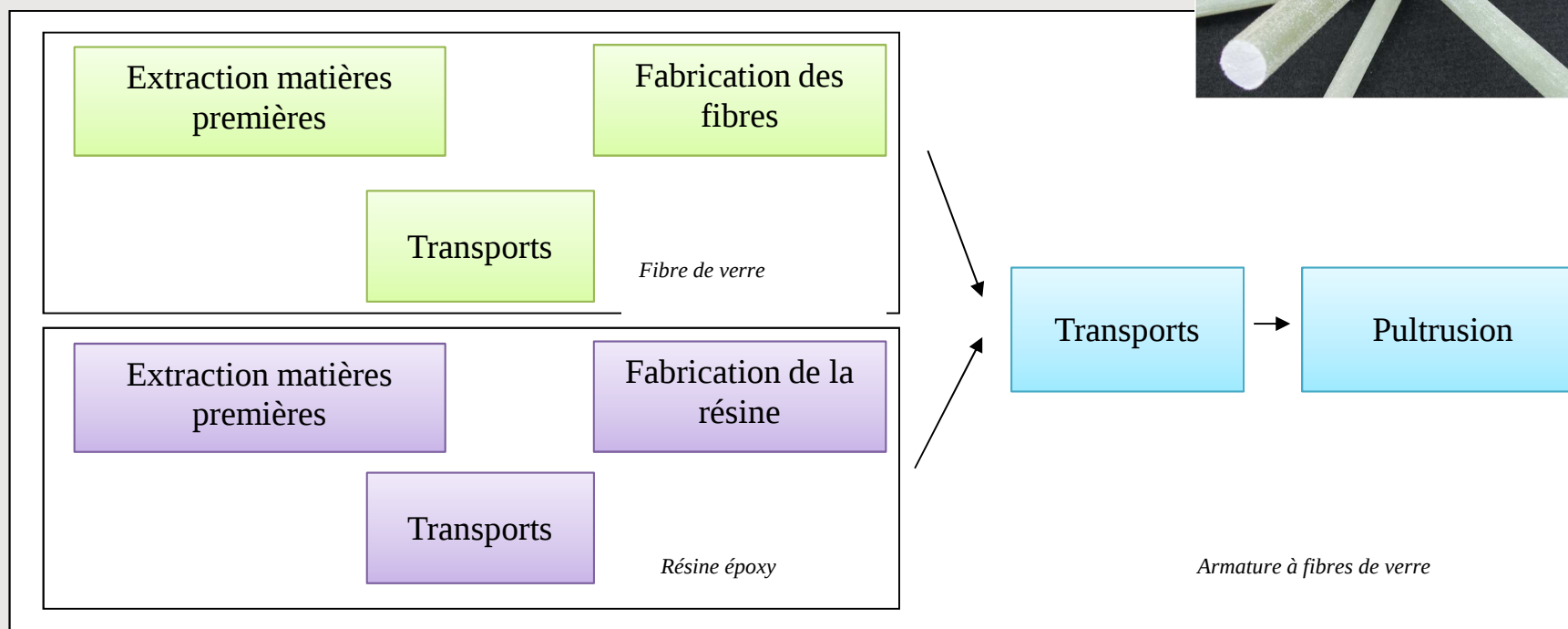
Pont de Wotton (Ehab El-Salakawy et Brahim Benmokrane)

Matériaux	Poutre Acier	Poutre Inox	Poutre PRFV
Béton (kg)	4267	4267	4163
Armature (kg)	103	103	131



Frontières et inventaire

- Armatures composite à fibres de verre



L'analyse du cycle de vie

- Hypothèses

- Sur le transport : poids lourd de 32t, consommation moyenne
 - 100 km pour les aciers et inox, de l'usine production jusqu'au chantier
 - 600 km pour les fibres et la résine, de l'usine production jusqu'à l'usine de fabrication des armatures
 - 1000 km pour les armatures composites, de l'usine de production jusqu'au chantier (*fabrication possible des armatures sur site*)
- Sur les procédés :
 - Acier : 98% de la filière électrique
2% de la filière fonte
 - Composite : 66% de fibre
34% de résine

- Données

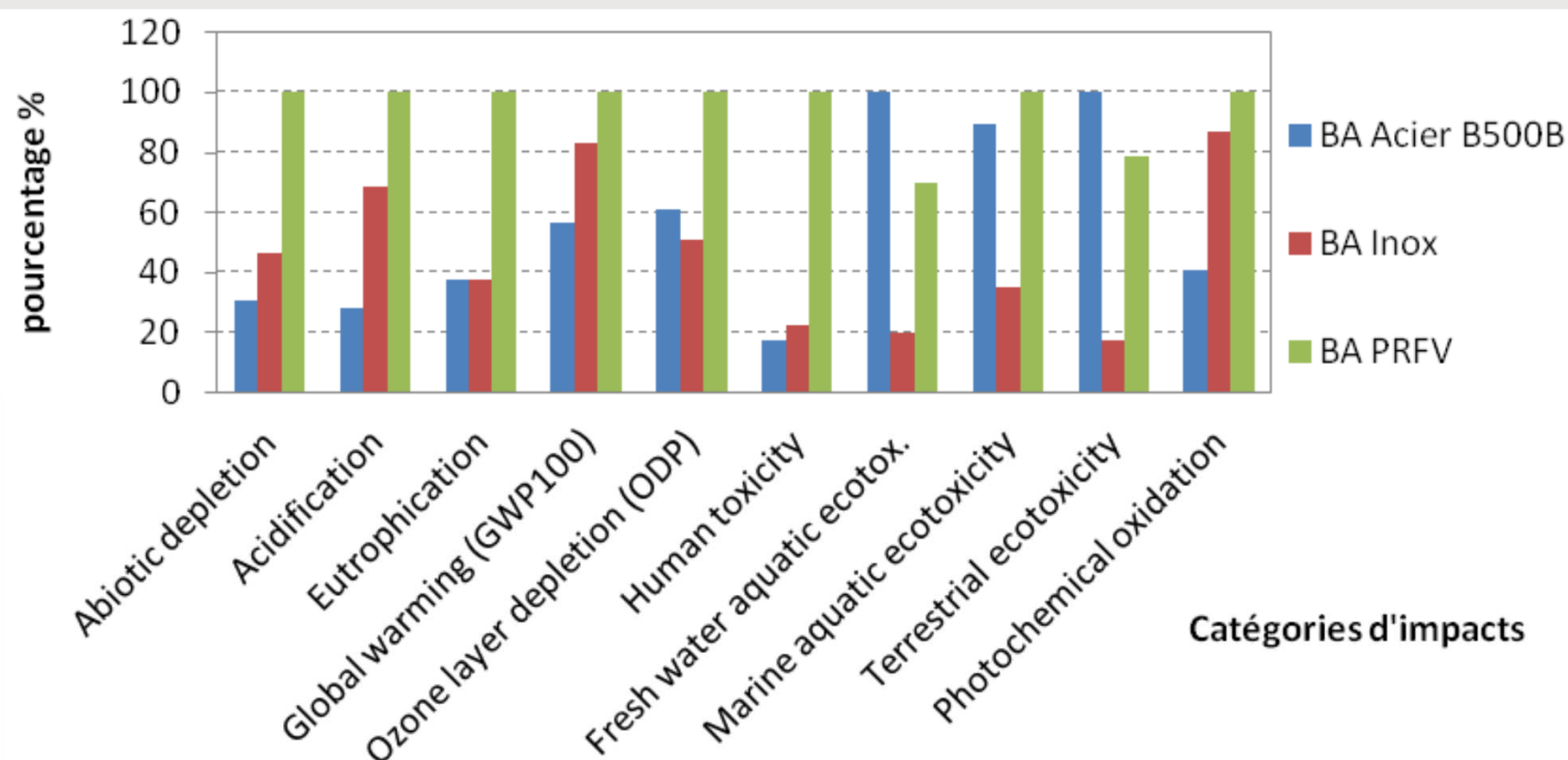
- Base de données EcolInvent
- Littérature
 - Etude de F. Gomes et al.

- Méthode CML 2000 – Logiciel Simapro



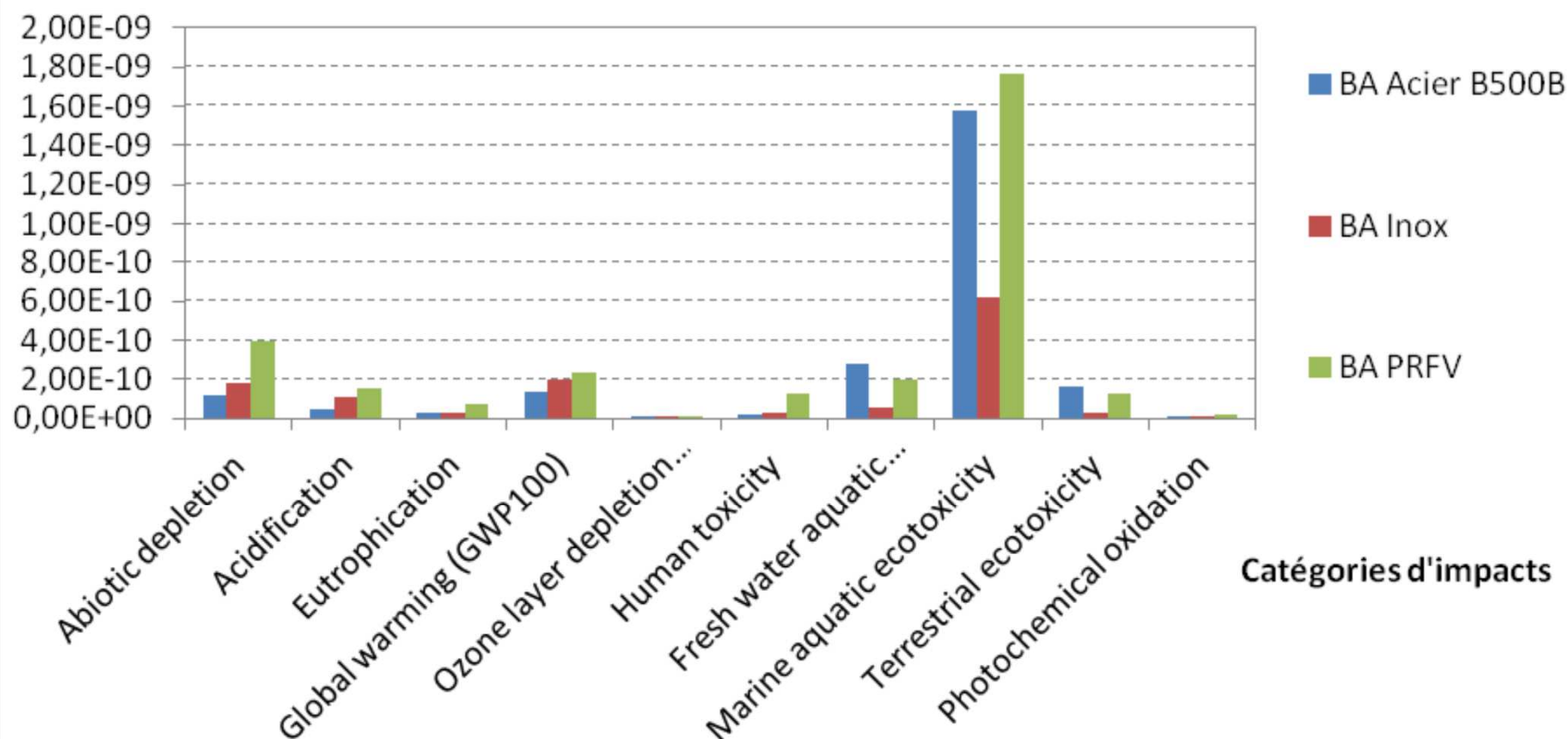
Evaluation des impacts

- Comparaison des impacts des 3 types de poutre



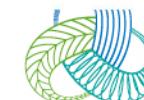
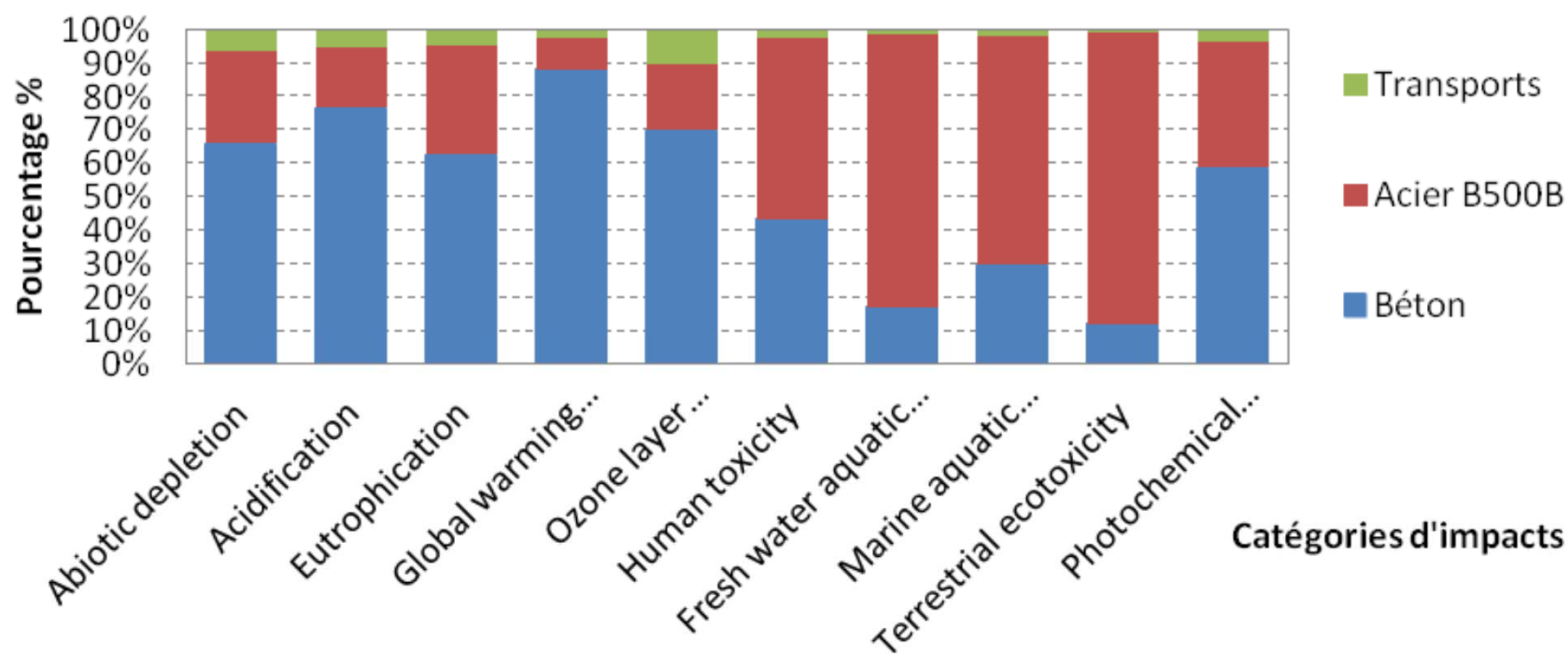
Evaluation des impacts

- Comparaison des impacts normalisés



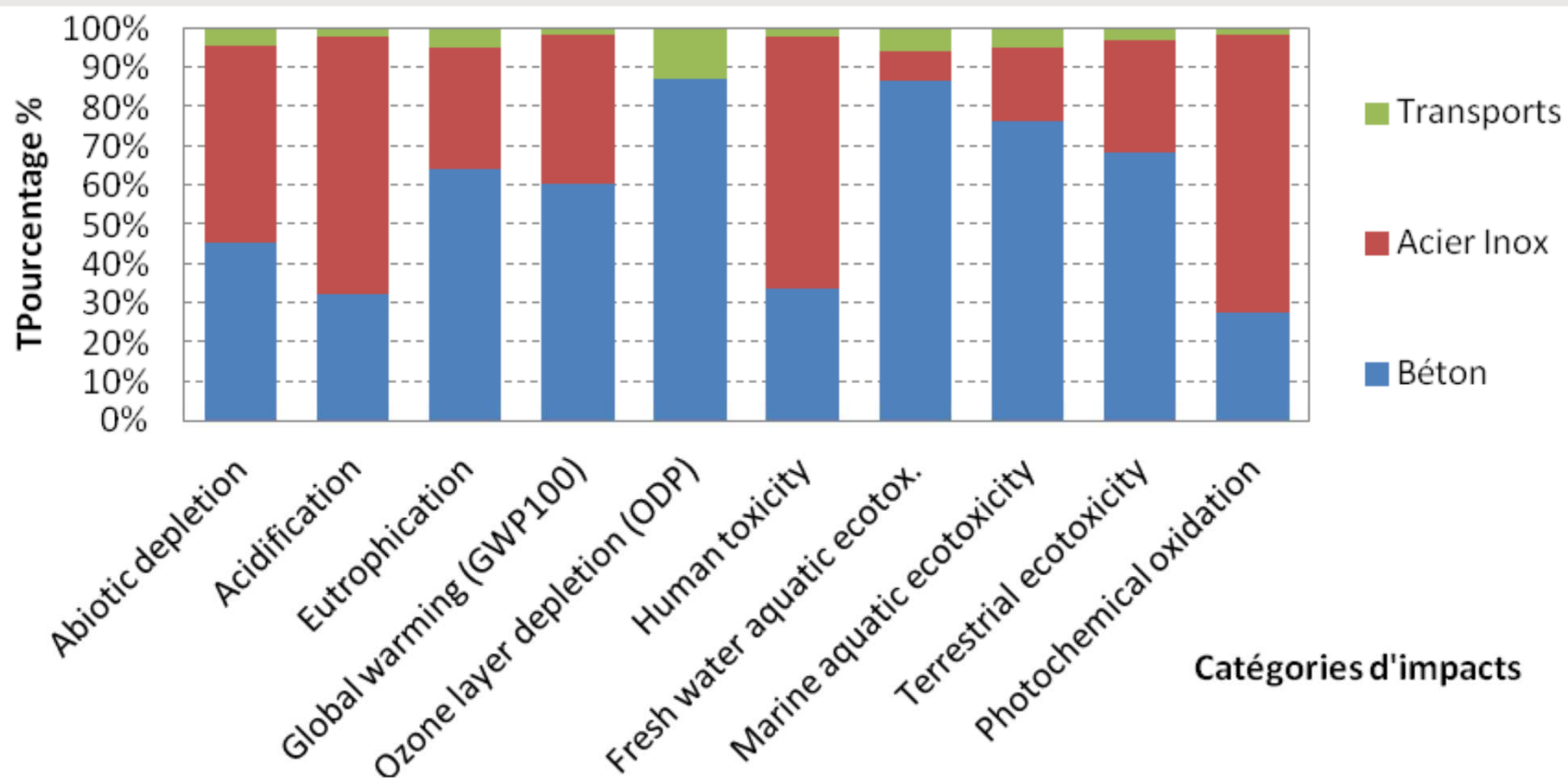
Evaluation des impacts

- Impacts des différents processus de la poutre avec armatures acier



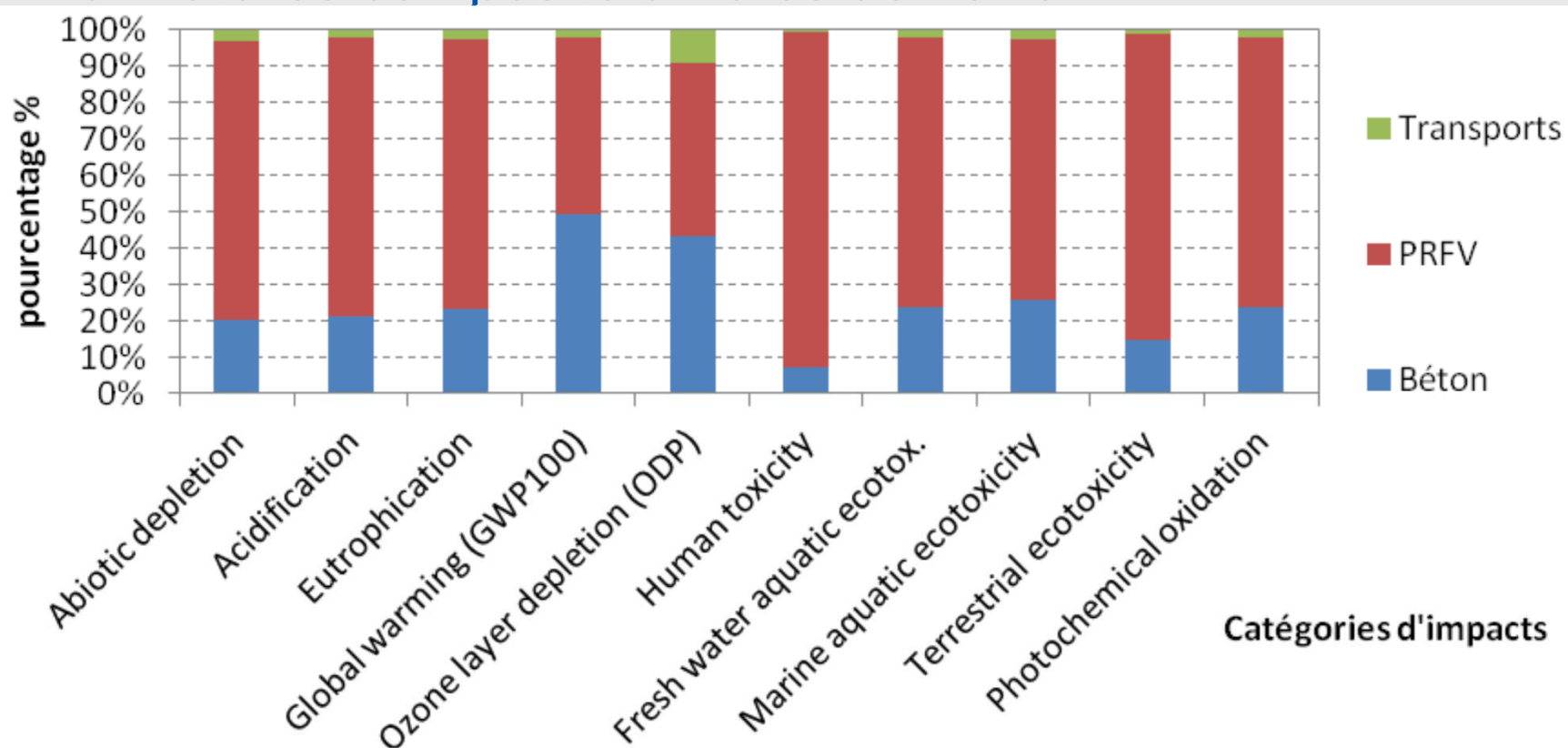
Evaluation des impacts

- Impacts des différents processus de la poutre avec armatures inox



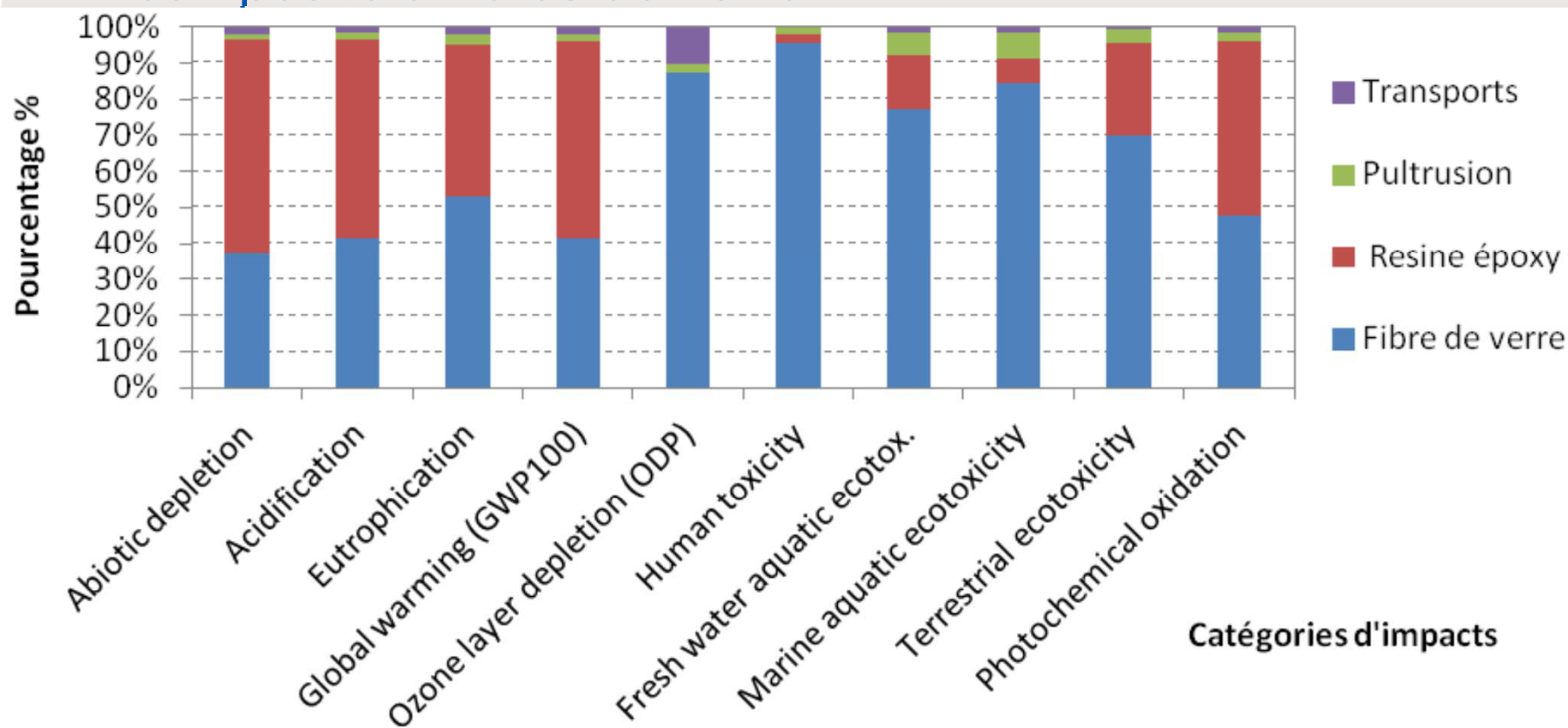
Evaluation des impacts

- Impacts des différents processus de la poutre avec armatures composite à fibres de verre



Evaluation des impacts

- Impacts des différents processus d'une armature composite à fibres de verre



Etude de sensibilité

- Transports
 - Aciers : 100 à 1000 km
 - ⇒ Variation de 0,3 à 6% en fonction des indicateurs pour la poutre avec armatures acier et
 - ⇒ Variation de 1 à 7,4% pour la poutre avec armatures inox
 - Composites : 10 à 1500 km
 - ⇒ Variation de 0,8 à 8% selon les indicateurs

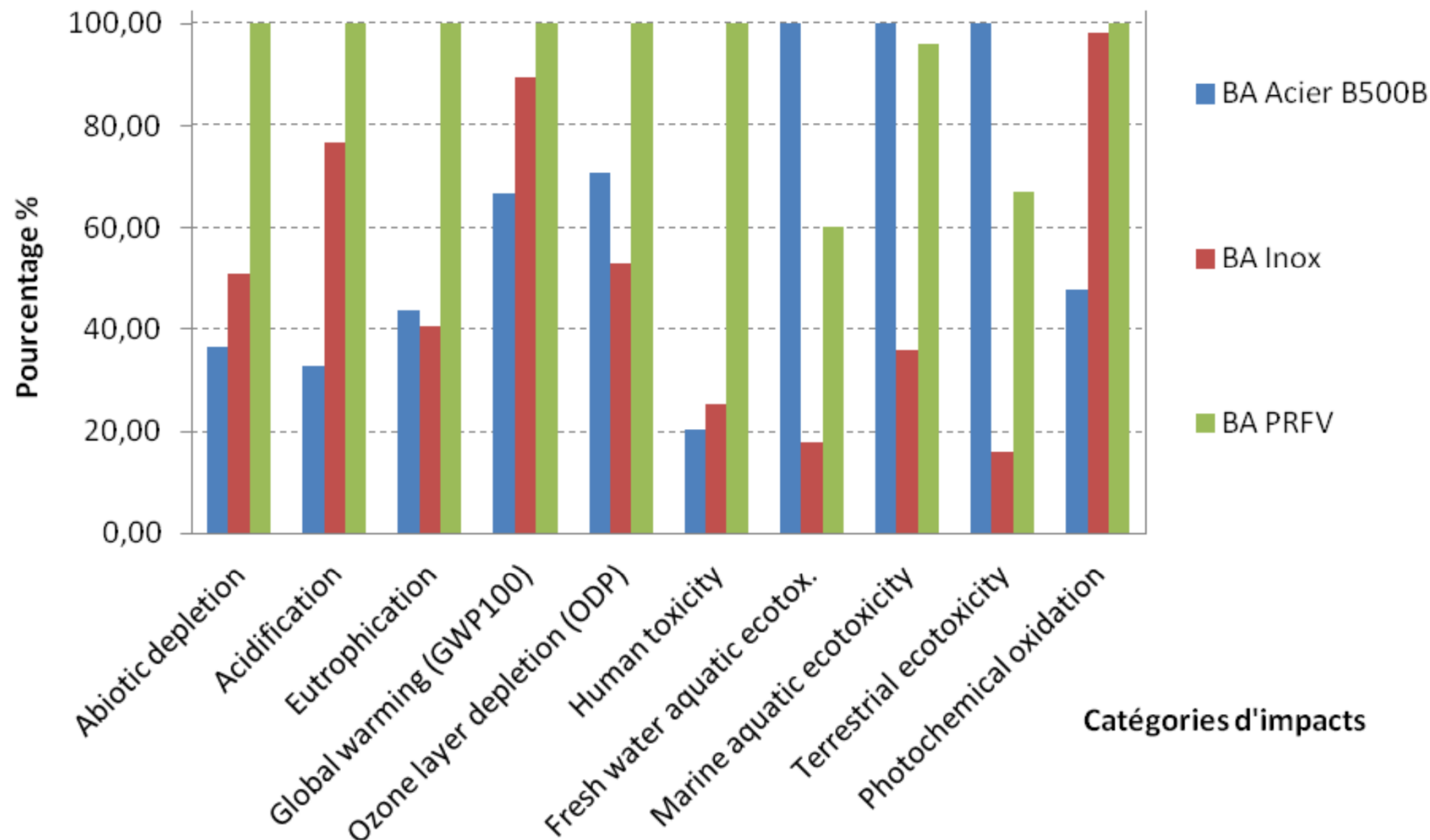


Influence de l'optimisation et du béton

	<i>Réduction %</i>	
<i>Catégories d'impacts</i>	<i>Poutre Inox</i>	<i>Poutre Composite</i>
La consommation des ressources abiotiques	6,6	3
L'acidification	4,4	2,9
L'eutrophisation	7,8	2,9
Le réchauffement climatique	8,9	7,2
La diminution d'ozone stratosphérique	11,2	5,6
La toxicité humaine	3,4	0,7
L'écotoxicité des eaux douces	9,5	2,6
L'écotoxicité des eaux marines	8,8	3
L'écotoxicité du sol	9,7	2,1
La formation de photo-oxydant	4,1	3,5



Influence de l'optimisation et du béton



Conclusions/Perspectives



- Conclusions:
 - Dimensionnement:
 - Quantité d'armatures composites plus importante pour un même élément de structure (choix conservateur des guides de dimensionnement en terme de limites à l'ELS)
 - Mais possibilité d'optimiser la solution en prenant en compte les avantages de ce type d'armatures (possibilité d'utiliser d'autres bétons)
 - Comparaison environnementale
 - Etude menée seulement sur l'aspect fabrication (n'inclut pas les opérations de réparation/maintenance)
 - Etude menée seulement pour le cas d'armatures composites à fibres de verre (pas de données pour le moment pour les autres fibres)
 - Possibilité de réduire les impacts environnementaux des solutions avec armatures non oxydables par corrosion



Merci pour votre attention

IFSTTAR

Route de Bouaye – CS4
44 344 BOUGUENNAIS Cedex
Tél. +33 (0)2 40 84 56 57
Fax. +33 (0)2 40 84 59 92
www.ifsttar.fr

virginie.perier@ifsttar.fr
sylvain.chataigner@ifsttar.fr

