



*Contribution à l'amélioration des propriétés de conduction électrique
et d'efficacité de blindage électromagnétique pour un matériau
composite*



Mohcine Hassar (LIMATB-Lorient), Jean Christophe Walrick, Stéphane Gillet (ESTACA'LAB, Pôle Mécanique des Matériaux Composites et Environnement - Laval)

mohcine.hassar@univ-ubs.fr, jean-christophe.walrick@estaca.fr, stephane.gillet@estaca.fr



Contexte



Environnement
électromagnétique

Exemple
Aéronautique

Systemes
embarqués

Blindage électromagnétique
(Matériaux conducteurs)

Solutions existantes

- ❑ Métallisation des parois;
- ❑ Peintures conductrices;
- ❑ Assemblage de matériaux conducteurs;
- ❑ Insertion d'un grillage métallique...

Inconvénients

- Une dégradation des propriétés;
- Mise en œuvre complexe.



Objectifs

Intégration de la fonction du blindage électromagnétique
Contraintes:

Gain de masse

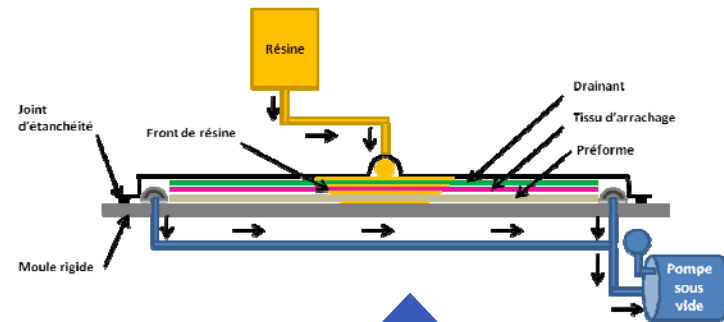
Renforts classiques:
Fibres de verre

Procédés de mise en œuvre
usuels: Infusion et RTM-éco

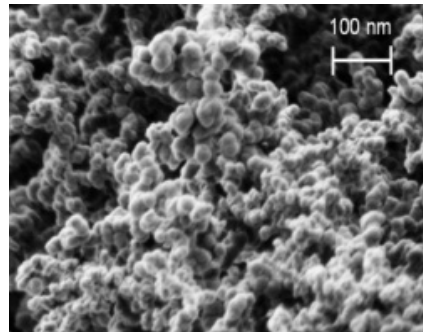
Une seule étape de mise en œuvre



Structure métallique



Solution composite

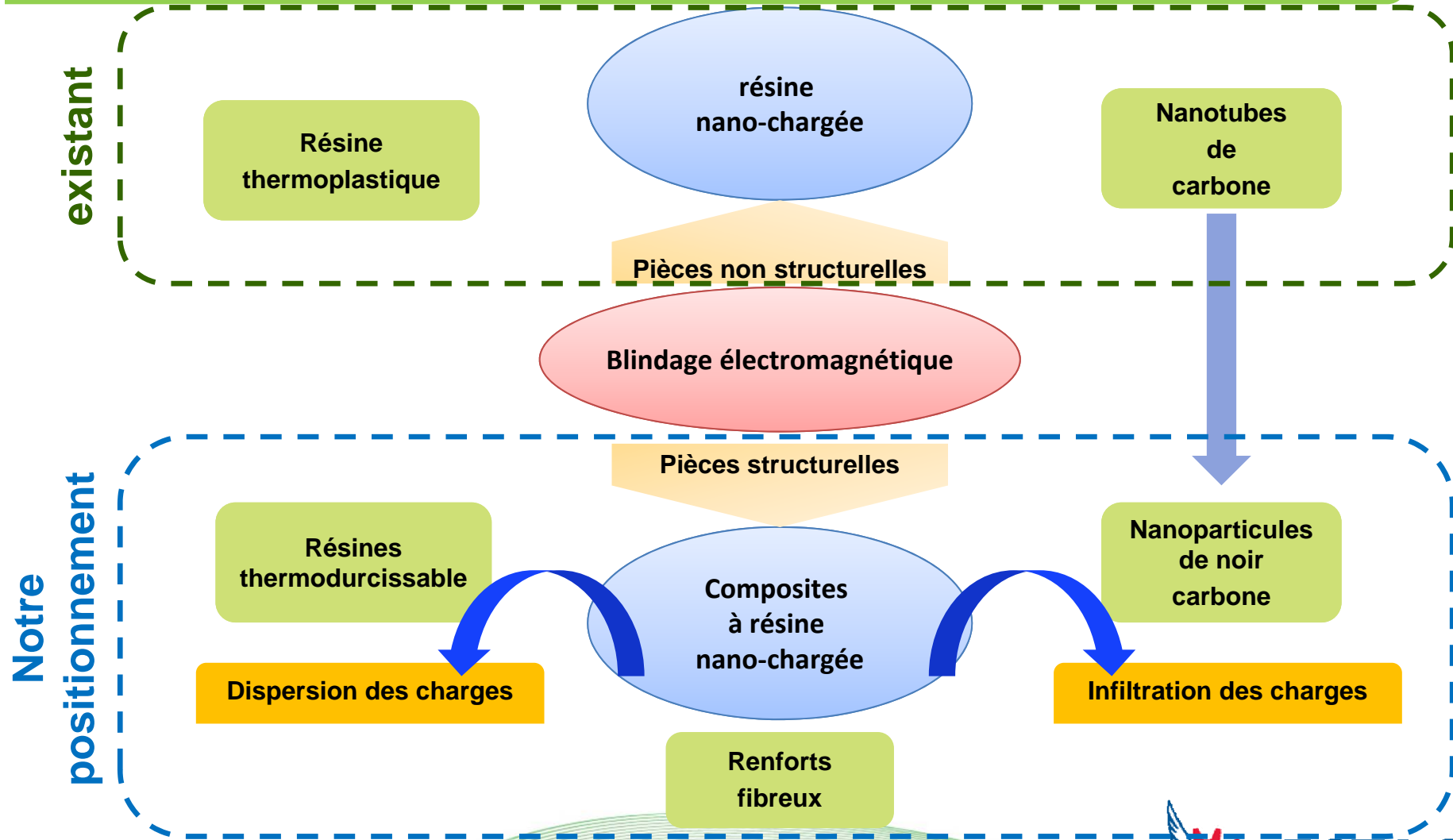


nanoparticules conductrices
de noir de carbone

Solution

Influence du noir de carbone
sur le comportement mécanique,
électrique et électromagnétique

Positionnement de l'étude



Plan

□ Mise en œuvre

- ✧ Dispersion de noir de carbone dans la matrice
- ✧ Effet de la dispersion sur le comportement électrique
- ✧ Réalisation d'un composite à résine nano-chargée

□ Blindage électromagnétique

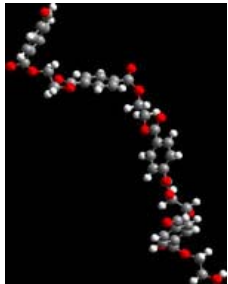
- ✧ Évaluation de l'efficacité du blindage électromagnétique

□ Conclusion et perspectives

Mise en œuvre: Constituants

Composite à résine nano-chargée

Polymère:
vinylester



Résine thermodurcissable
Faible viscosité
Conductivité électrique de 10^{-16} S/m

Matrice

Charges conductrices

Renforts

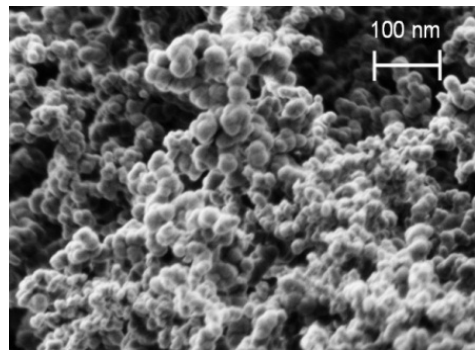
Fibre de verre Taffetas:



Conductivité électrique de 10^{-15} S/m
Grande perméabilité microscopique

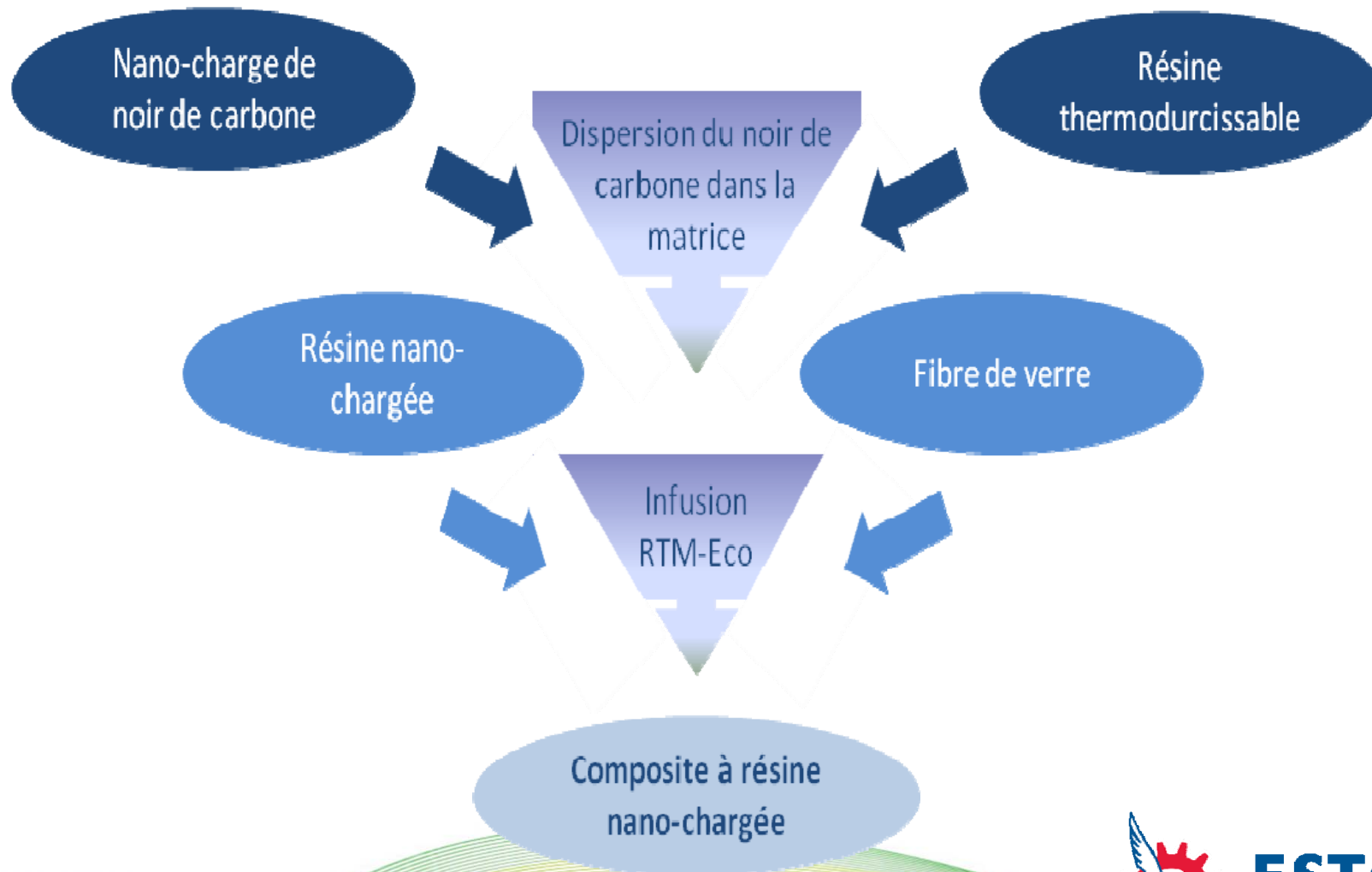
Noir de carbone Ensaco 250G:

Particules élémentaires (45 nm)
Conductivité électrique :
Carbone brute 10^3 S/m



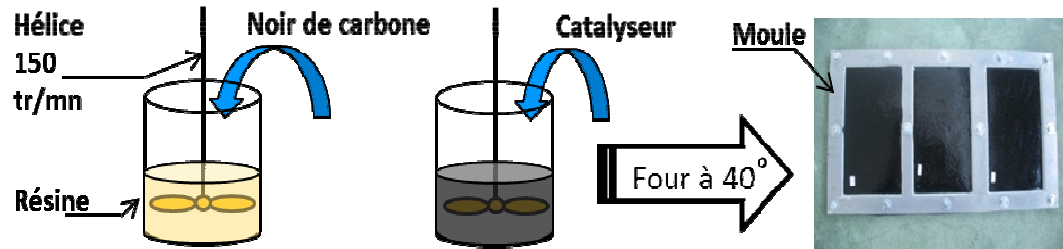
Images MEB du noir de carbone Ensaco 250

Mise en œuvre: Démarche

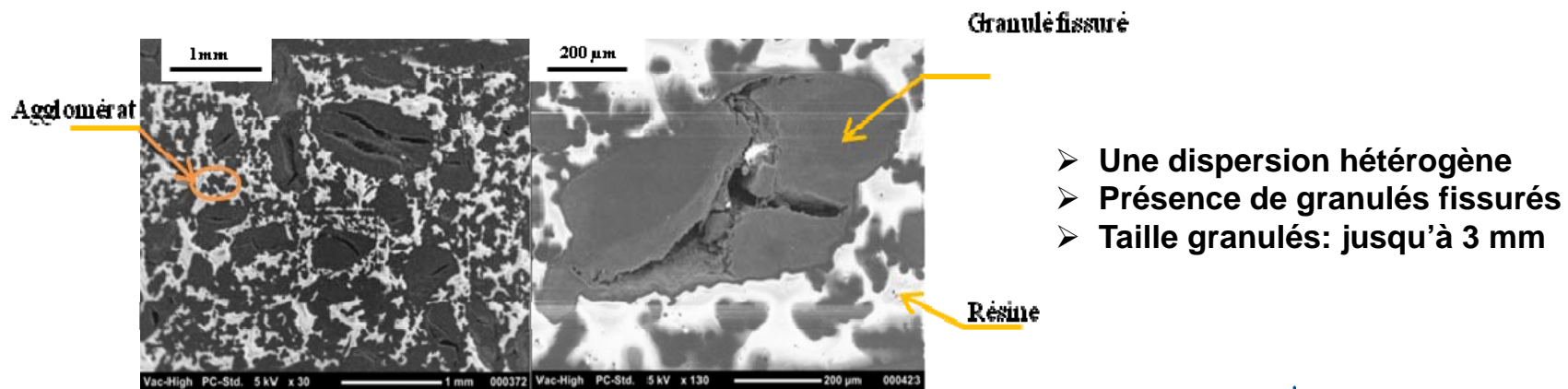


Dispersion du noir de carbone

- Protocole de mise en œuvre: (Mélange sans efforts de cisaillement)



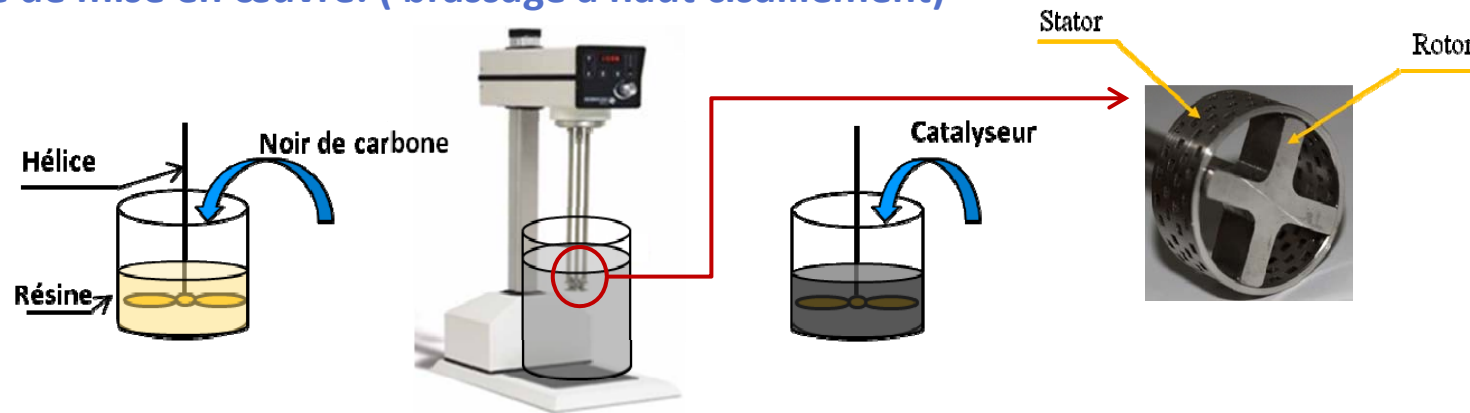
- Etat de dispersion et morphologie :
(résine chargée à 25% en volume)



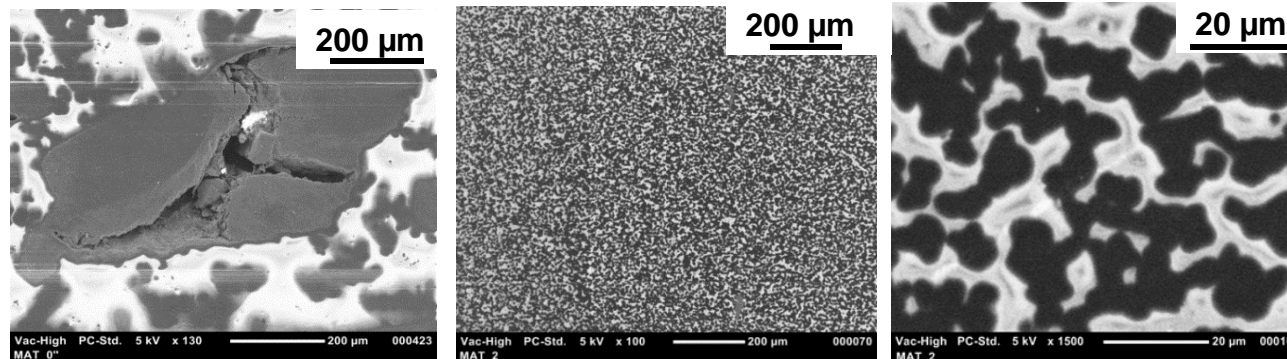
Mélangeur à haut cisaillement

Dispersion du noir de carbone

- Protocole de mise en œuvre: (brassage à haut cisaillement)



- Etat de dispersion et morphologie :
(résine chargée à 25% en volume)



- Absence de granulés fissurés
- Une dispersion homogène
- Agglomérats varient de 1µm à 100µm

Sans cisaillement

Avec cisaillement

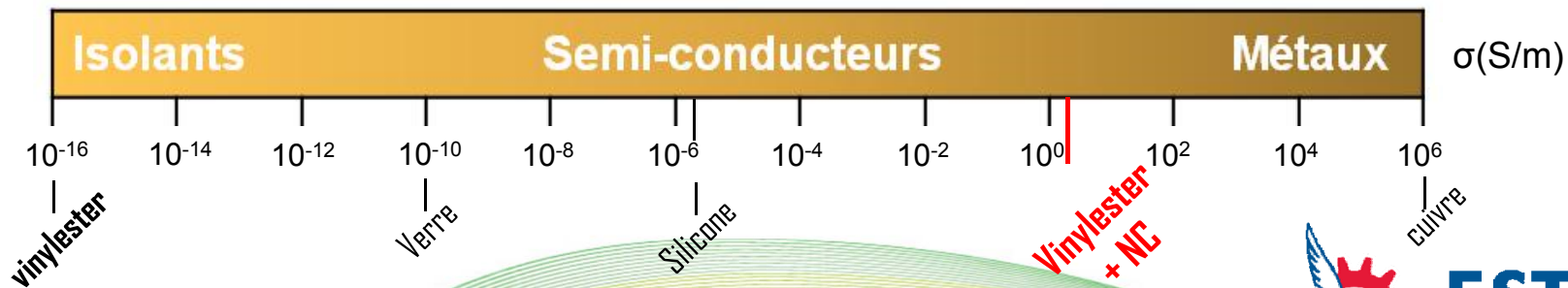
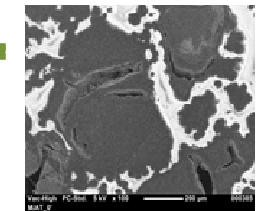
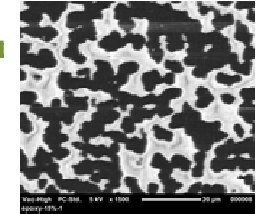
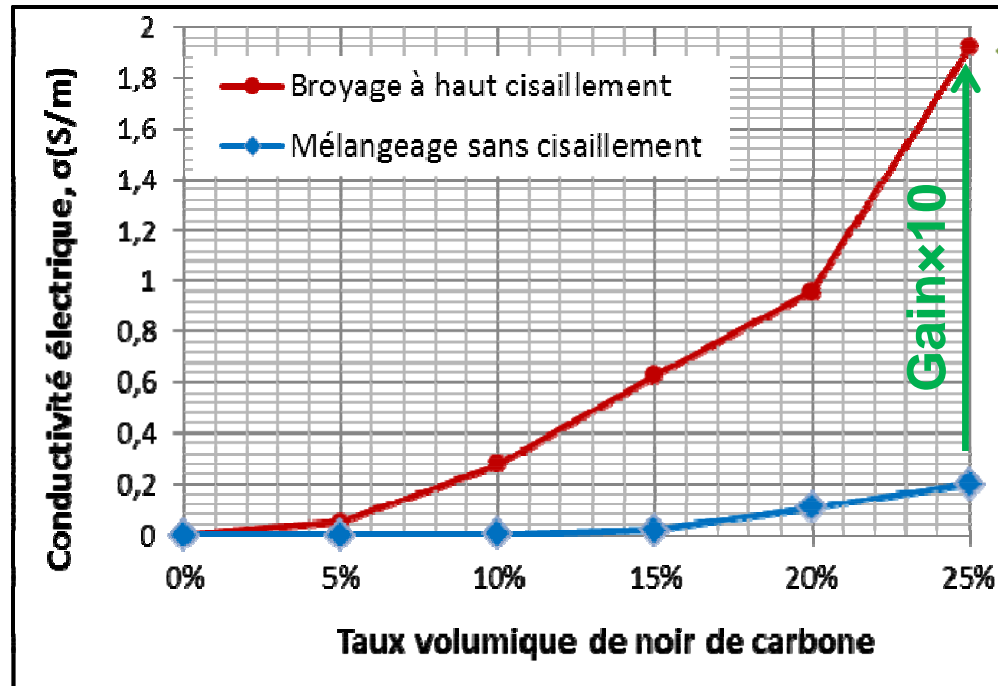
Mesure de conductivité électrique

Effet de la dispersion sur les propriétés électriques

Conductivité électrique

Montage à 4 fils (norme ASTM D 257)

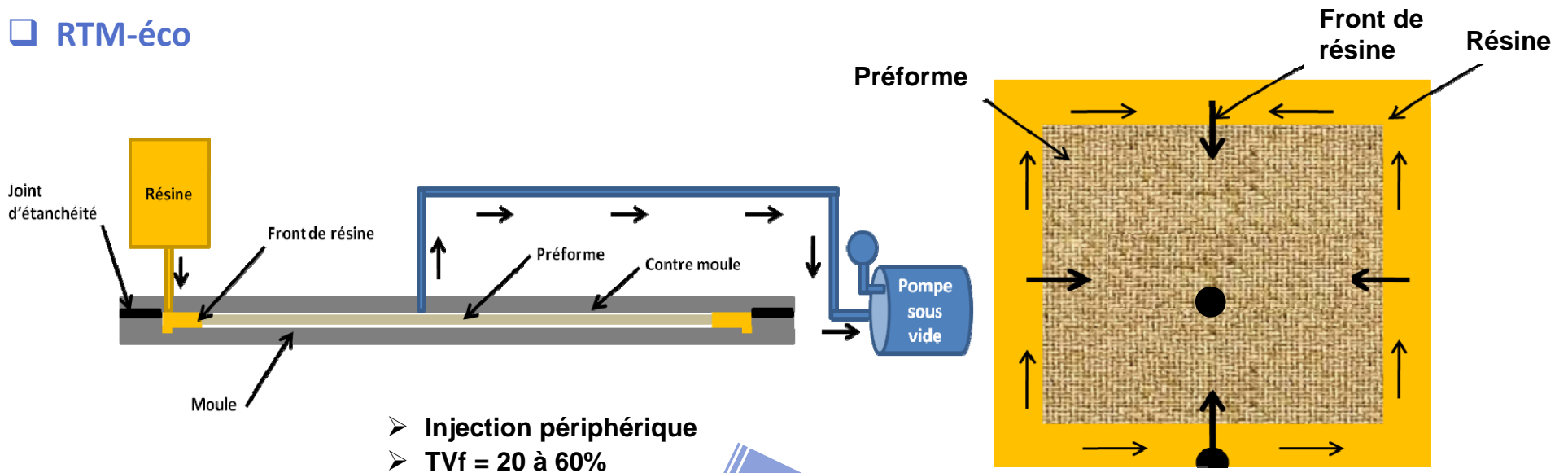
Résine + noir de carbone	Seuil de percolation	Conductivité électrique (25% noir de carbone)
Mélangeage à hélice	10%-15%	0.19 S/m
Brassage à haut cisaillement	<5%	1.9 S/m



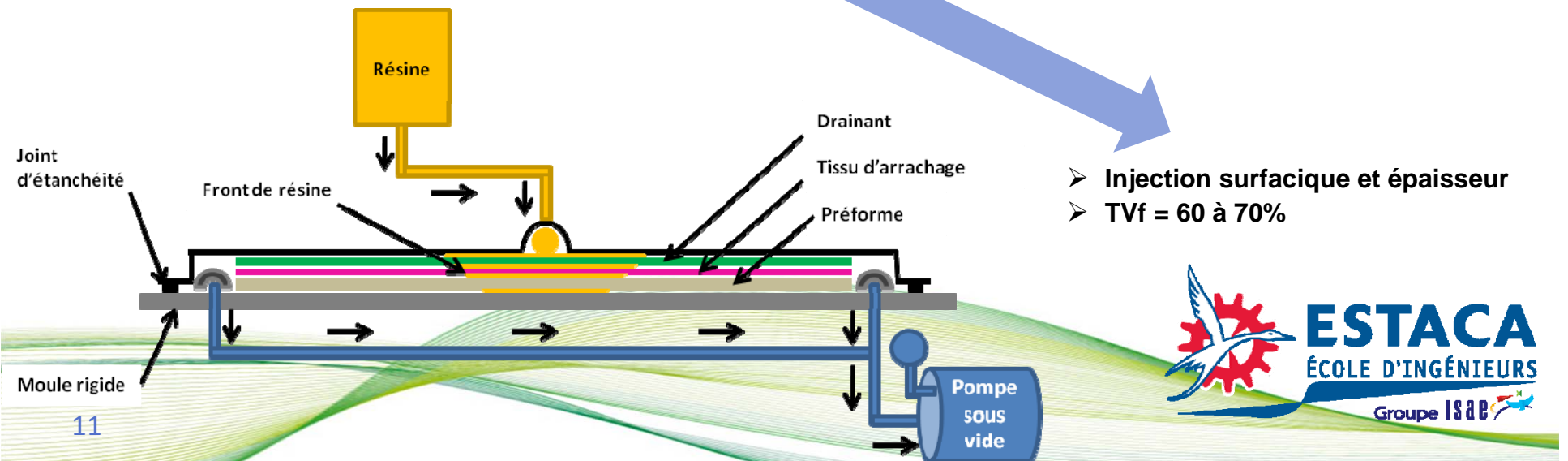
Infiltration de la résine nano-chargée

Infiltration de la résine nano-chargée

□ RTM-éco

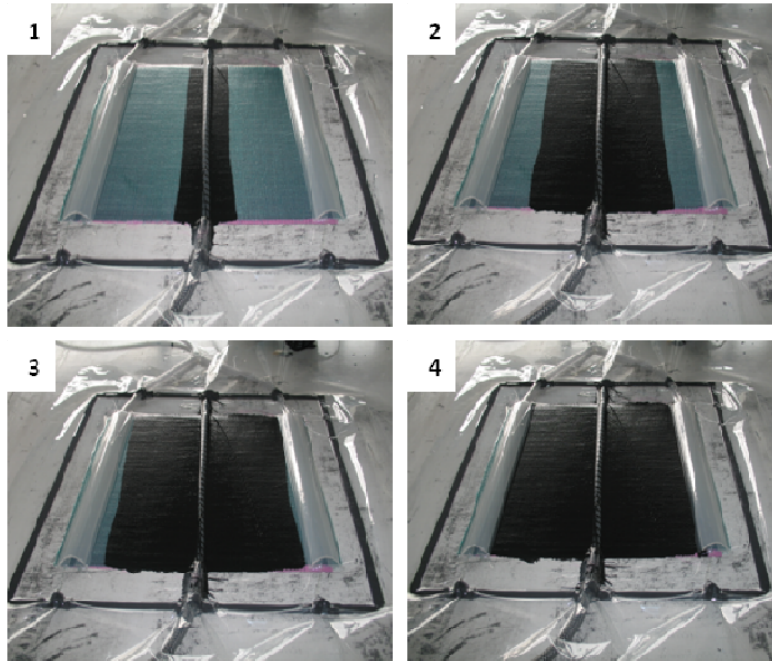


□ Infusion

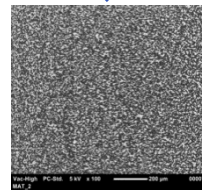


Infiltration de la résine nano-chargée

☐ Infiltration de la résine chargée après réduction de la taille de granulés



Infusion



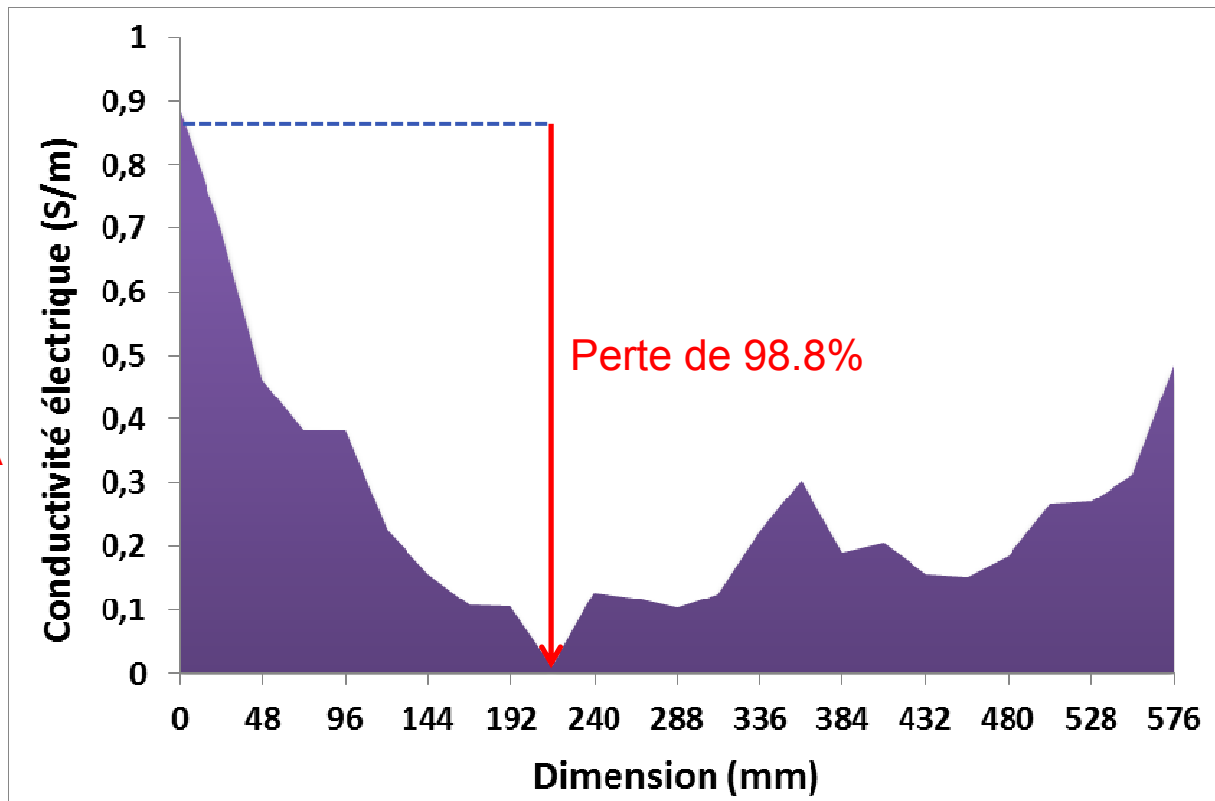
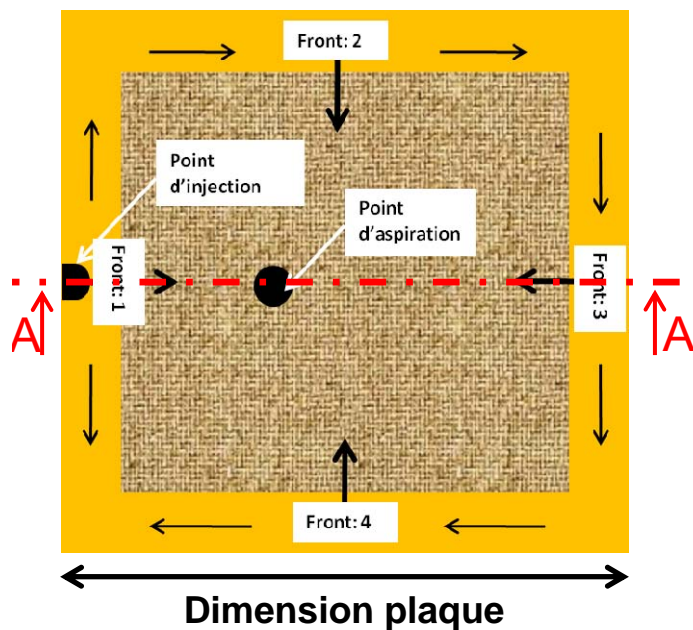
RTM-éco

- Migration progressive de la résine chargée
- Imprégnation totale de la préforme

Evaluation de l'homogénéité des plaques
Par des mesures de la conductivité électrique

Conductivité électrique: Homogénéité des plaques

□ RTM-éco

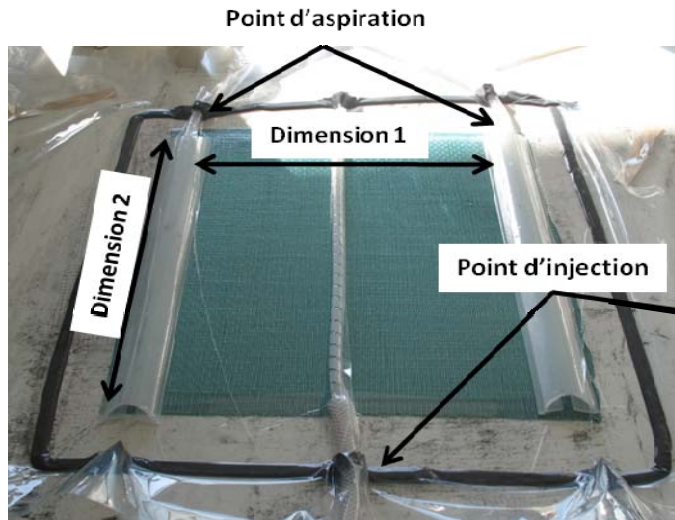


A-A

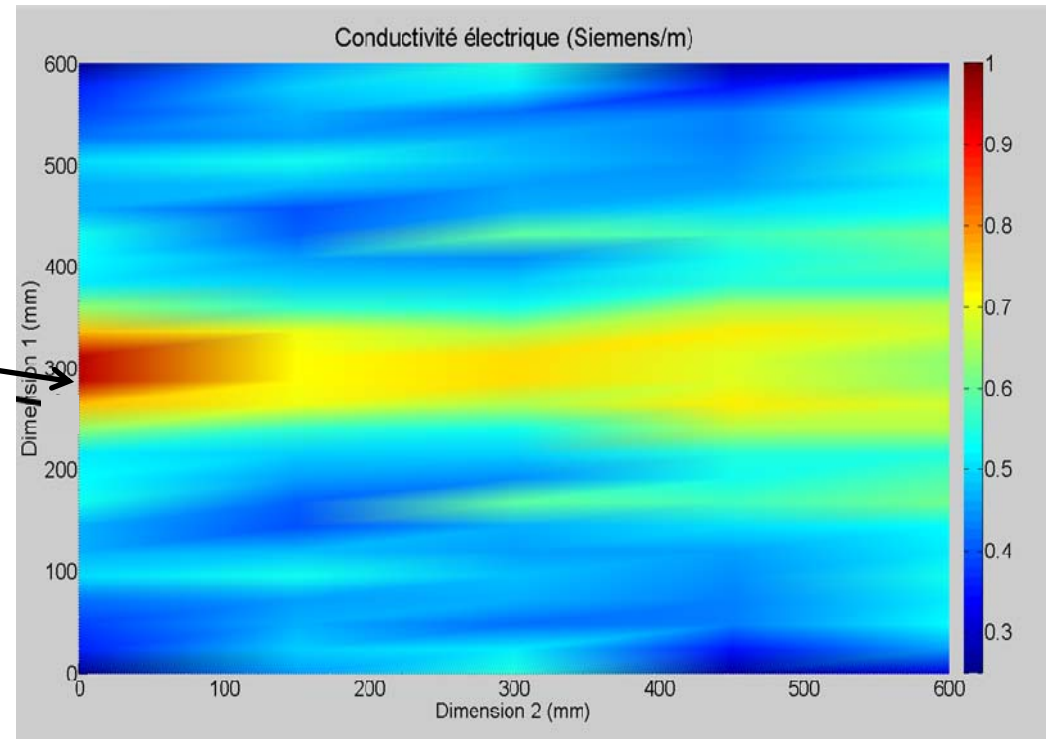
- Dispersion hétérogène
- Perte importante
- Effet d'essorage

Conductivité électrique: Homogénéité des plaques

☐ Infusion



Moyenne (S/m)	0,51
Ecartype (S/m)	0,11

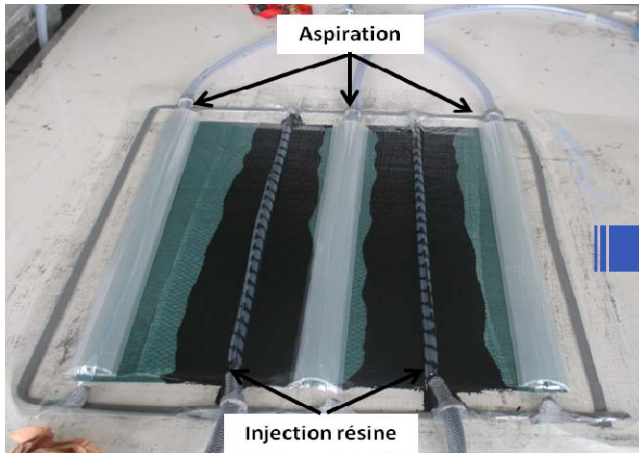


- Filtration des particules par le tissu de verre
- Dispersion hétérogène
- Essorage plus prononcé avec le procédé RTM-éco

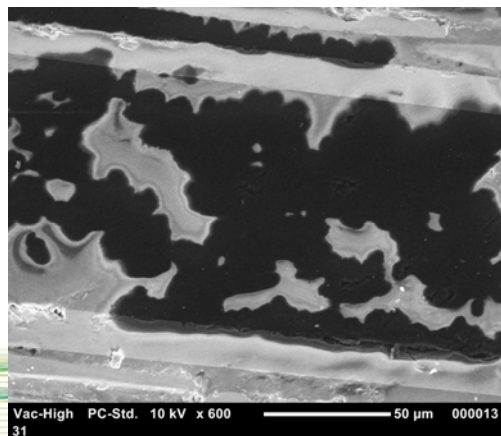
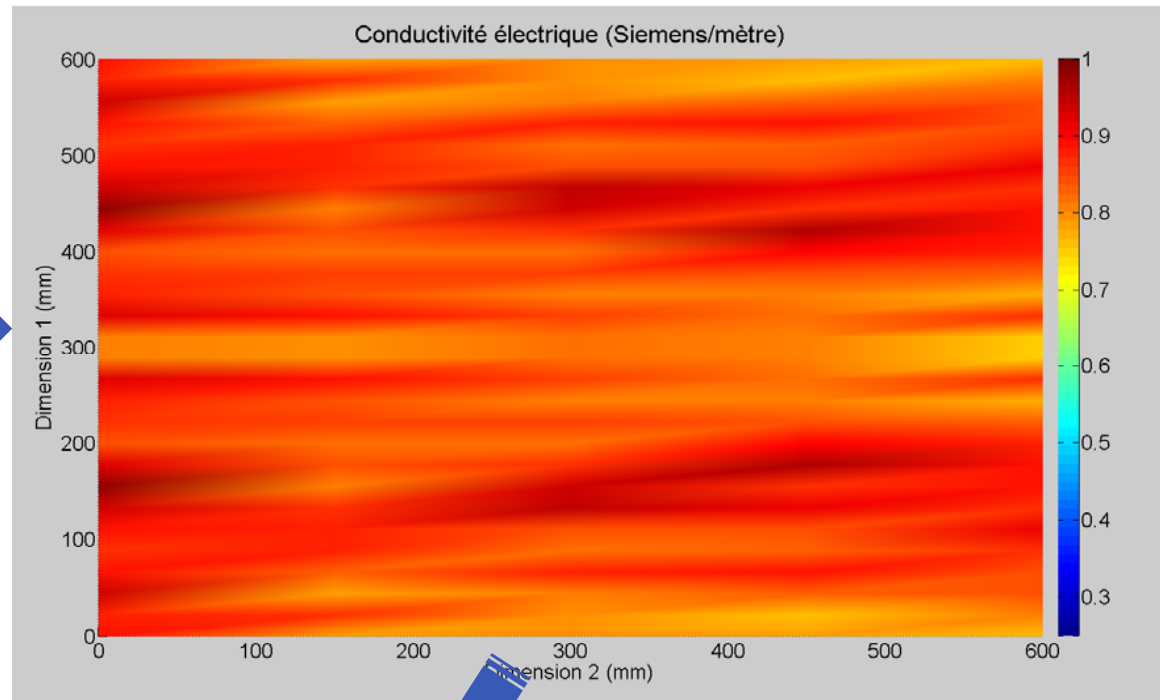
Minimiser la distance parcourue par le front de résine

Optimisation du procédé d'infusion

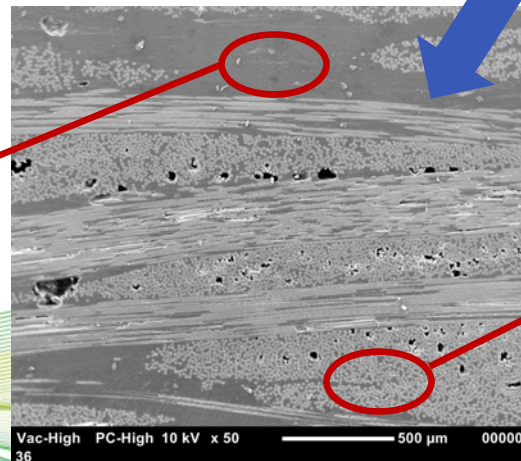
☐ Infusion modifiée



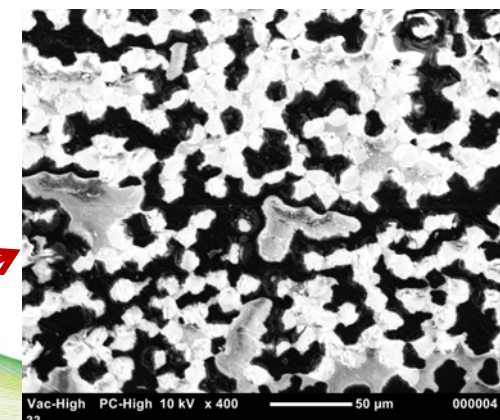
Moyenne (S/m)	0,85
Ecartype (S/m)	0,05



➤ Infiltration entre les mèches





➤ Infiltration dans l'épaisseur



➤ Infiltration au cœur des mèches

Synthèse: Mise en œuvre

Dispersion du noir de carbone dans la résine

	Dispersion de noir de carbone	
	Sans cisaillement	Haut cisaillement
Etat de dispersion		
Morphologie	Granulés fissurés (Jusqu'à 3 mm)	Agglomérats (1µm à 100µm)
Conductivité	0.19 S/m	1.9 S/m
Seuil de percolation	10%-15%	<5%

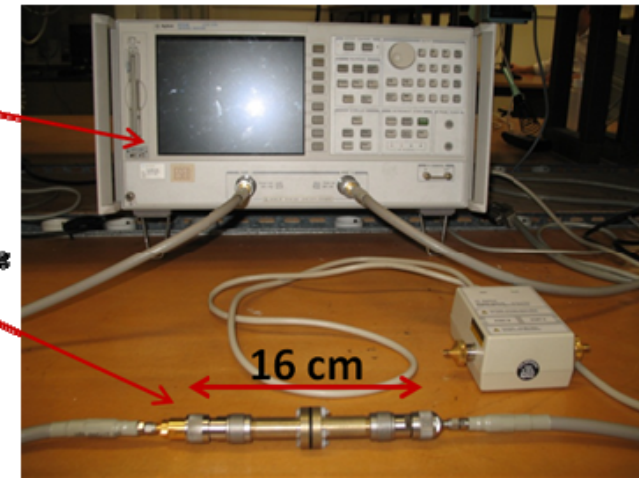
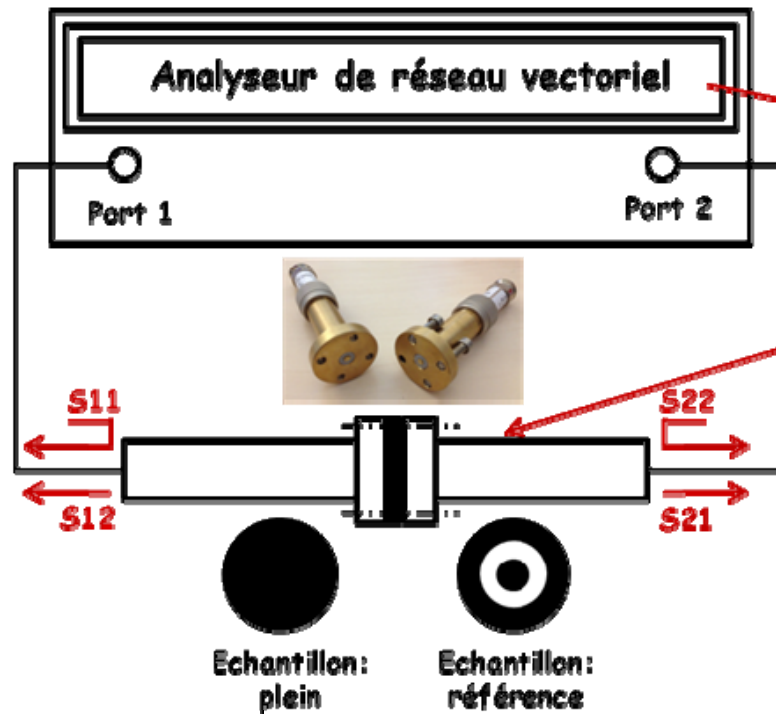
Mise en œuvre de composite à résine nano-chargée

- Choix du procédé « infusion » avec une amélioration
- Plaques chargées à 25% homogènes sans perte de conductivité électrique

Evaluation de l'efficacité de blindage électromagnétique des matériaux composites, après amélioration de la conductivité électrique

Efficacité de blindage électromagnétique

- Protocole de mesure: dérivé de la norme ASTM4935-99



La bande de fréquence 10MHz à 6GHz

$$SE = 10 \log \frac{P_I}{P_T} = 20 \log \frac{E_I}{E_T} = 20 \log \frac{H_I}{H_T} = S21(R)_{dB} - S21(P)_{dB}$$

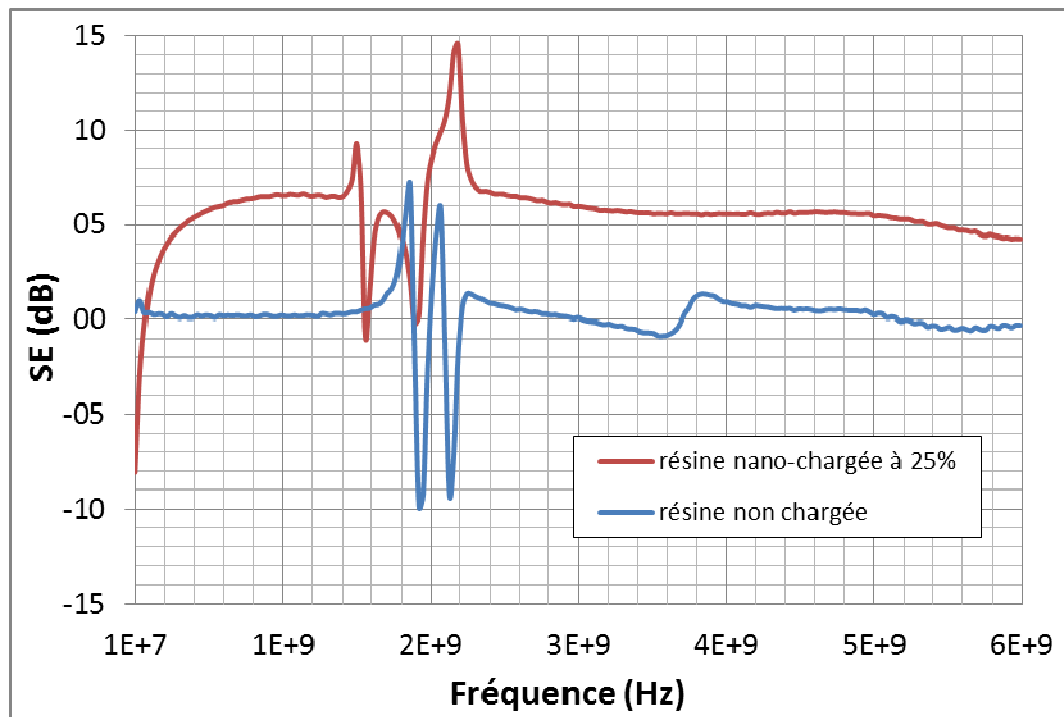
SE: efficacité de blindage électromagnétique en dB

S21 (R): coefficient de transmission mesuré avec l'échantillon de référence

S21 (réf:2): coefficient de transmission mesuré avec l'échantillon plein

Efficacité de blindage électromagnétique

□ Efficacité de blindage de la résine nano-chargée à 25%



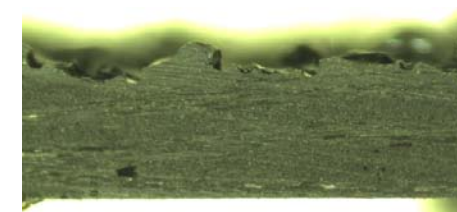
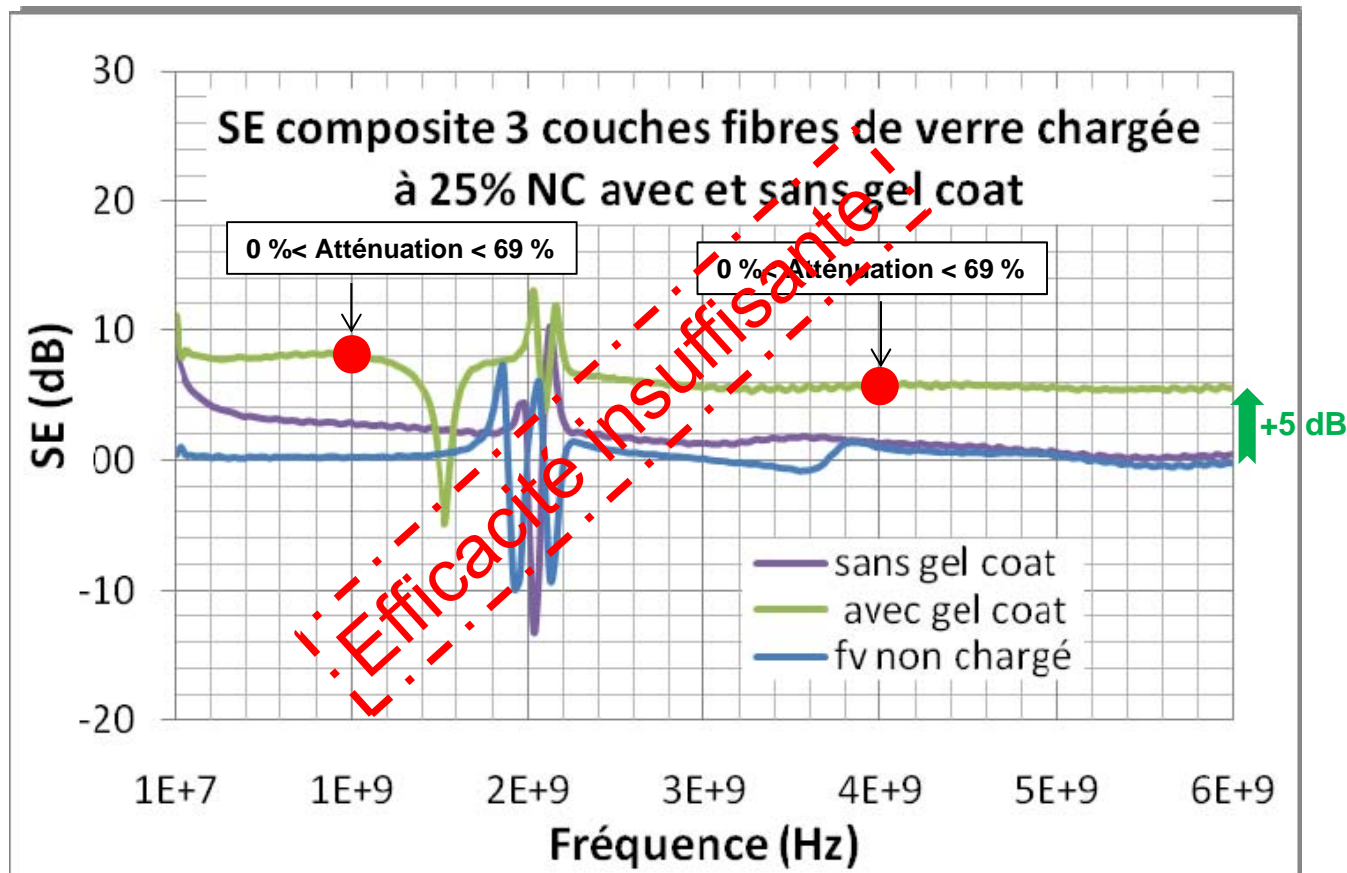
SE (dB)	Champ transmis (%)	Champ non transmis (%)
0	100	0
10	31	69
20	10	90
40	1	99
60	0.1	99.9

- **Résine non chargée:**
 - Une efficacité nulle
 - Un écran transparent
- **Résine nano-chargée à 25%**
 - Une efficacité de l'ordre de 5 à 6 dB
 - Une atténuation inférieure à 69%

Efficacité de blindage de composites à résine nano-chargée

Efficacité de blindage électromagnétique

- Efficacité de blindage de composite avec 3 couches de fibres de verre chargée à 25%



Sans gel coat : Rugosité importante

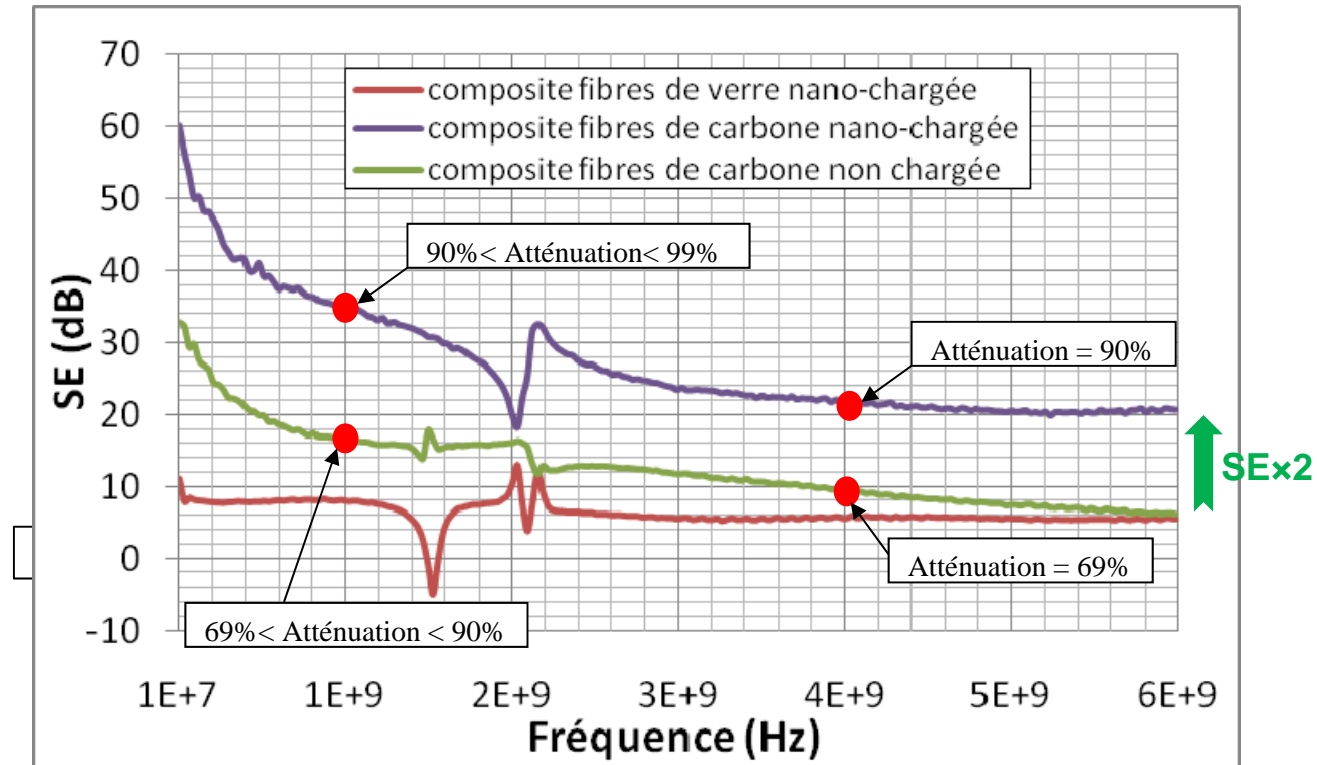


Avec gel coat : Etat de surface correct

- Intégration d'un gel coat améliore l'efficacité de blindage de 5 dB
- Atténuation reste faible et insuffisante pour assurer un bon blindage

Efficacité de blindage électromagnétique

□ Efficacité de blindage de composite avec 3 couches de fibres de carbone chargée à 25%



▪ Composite à base de fibre de carbone non chargé:

- Une efficacité de l'ordre de 8 à 30dB
- Une meilleure efficacité de blindage par rapport au composite à base de fibres de verre nano-chargé

▪ Composite à base de fibre de carbone chargé:

- Une amélioration significative de l'efficacité par rapport au matériau non chargé
- Une efficacité multipliée par deux

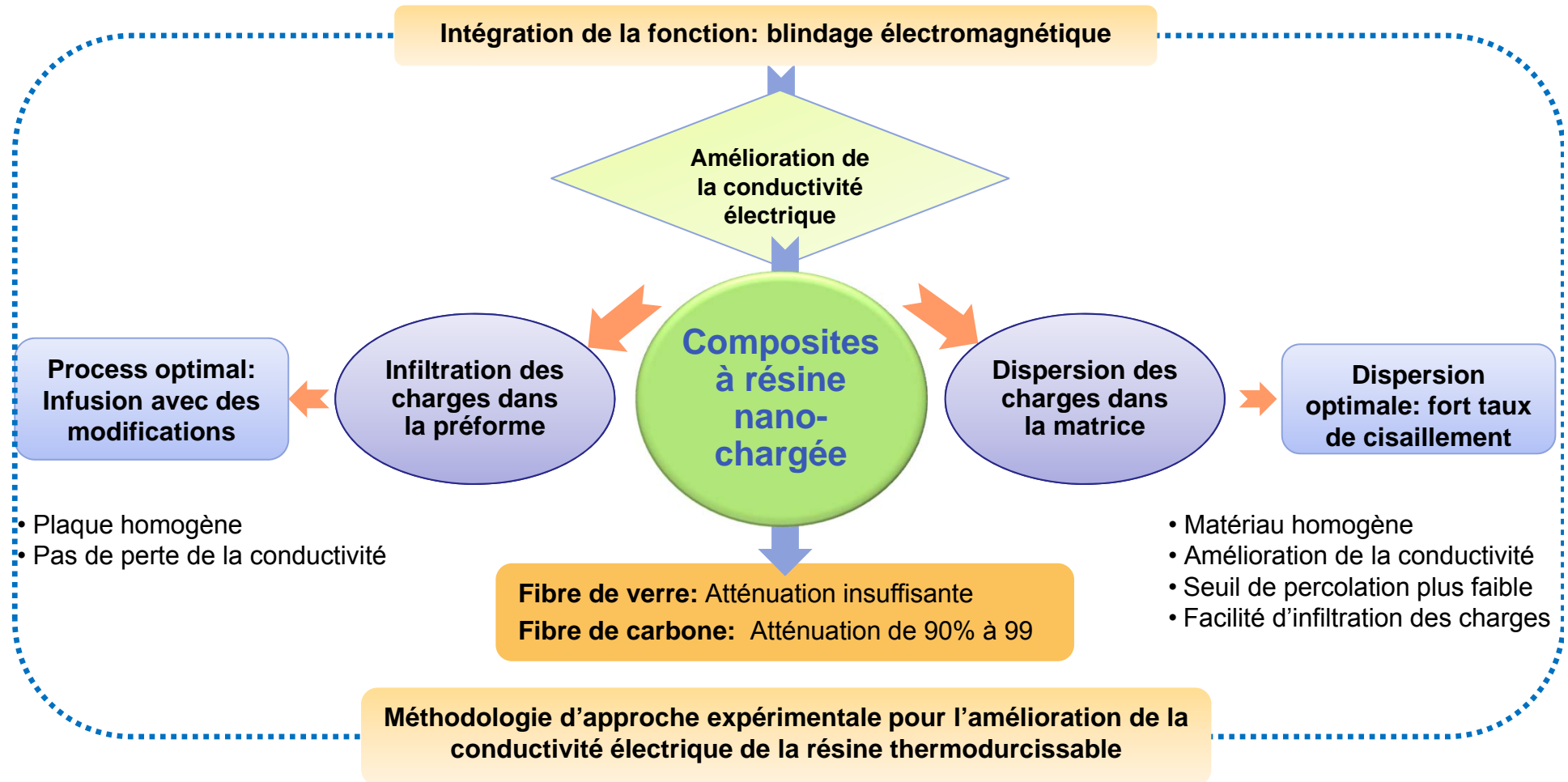
- Une atténuation proche à 99% à basse fréquence
- Une atténuation de 90% à haute fréquence

Synthèse: Efficacité de blindage

	Efficacité de blindage	Atténuation
Résine chargée à 25%	5 à 6 dB	<69%
Composite de fibre de verre à résine nano-chargée	0 à 5 dB (sans gel coat) + 5 dB (avec gel coat)	<69%
Composite de fibre de carbone à résine nano-chargée	20 à 50 dB	90% < A < 99%

Conclusion
et
perspectives

Conclusion



Perspectives

Perspectives

Perspectives

Mise en œuvre

- Amélioration du protocole de dégazage
- Réalisation de pièces complexes
- Utilisation de cette approche pour d'autres applications (thermique, tenue au feu,...)

Blindage électromagnétique

- Seuil de percolation électromagnétique
- Lien entre conductivité et blindage
- Comprendre les phénomènes mis en jeu lorsque l'on associe la résine chargée aux fibres de carbones