

Un modèle mécanosorptif pour l'évaluation des déformations du bois sous sollicitation et humidité variables

Omar Saifouni, Rostand Moutou Pitti, Jean François Destrebecq

Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE, France

Contexte Scientifique : Le bois est un matériau d'œuvre dont le comportement mécanique est fortement dépendant des échanges hydriques avec le milieu ambiant. Ainsi, les variations du taux d'humidité dans le bois se traduisent par des gonflements ou des retraits. De plus, son comportement sous contrainte est influencé par le taux et le sens de variation de l'humidité. Ce phénomène d'interaction entre les effets combinés du chargement mécanique et des variations d'humidité se définit par la mécanosorption. Une complication particulière dans le comportement mécanosorptif résulte d'un blocage de la déformation lors du séchage sous contrainte, ou effet hygroverrou. Dans ce travail, on postule la partition de la contrainte en une part élastique et en une part mécanosorptive. Basée sur cette hypothèse, une approche en rigidité est développée et implémentée dans un logiciel de calcul numérique; ce qui permet d'évaluer la déformation du bois sous sollicitations et humidité variables en tenant compte de l'effet hygroverrou.

1- Partition de contraintes

On postule la partition de la contrainte en une part élastique σ_e et une part mécanosorptive σ_{ms}

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_{ms}$$

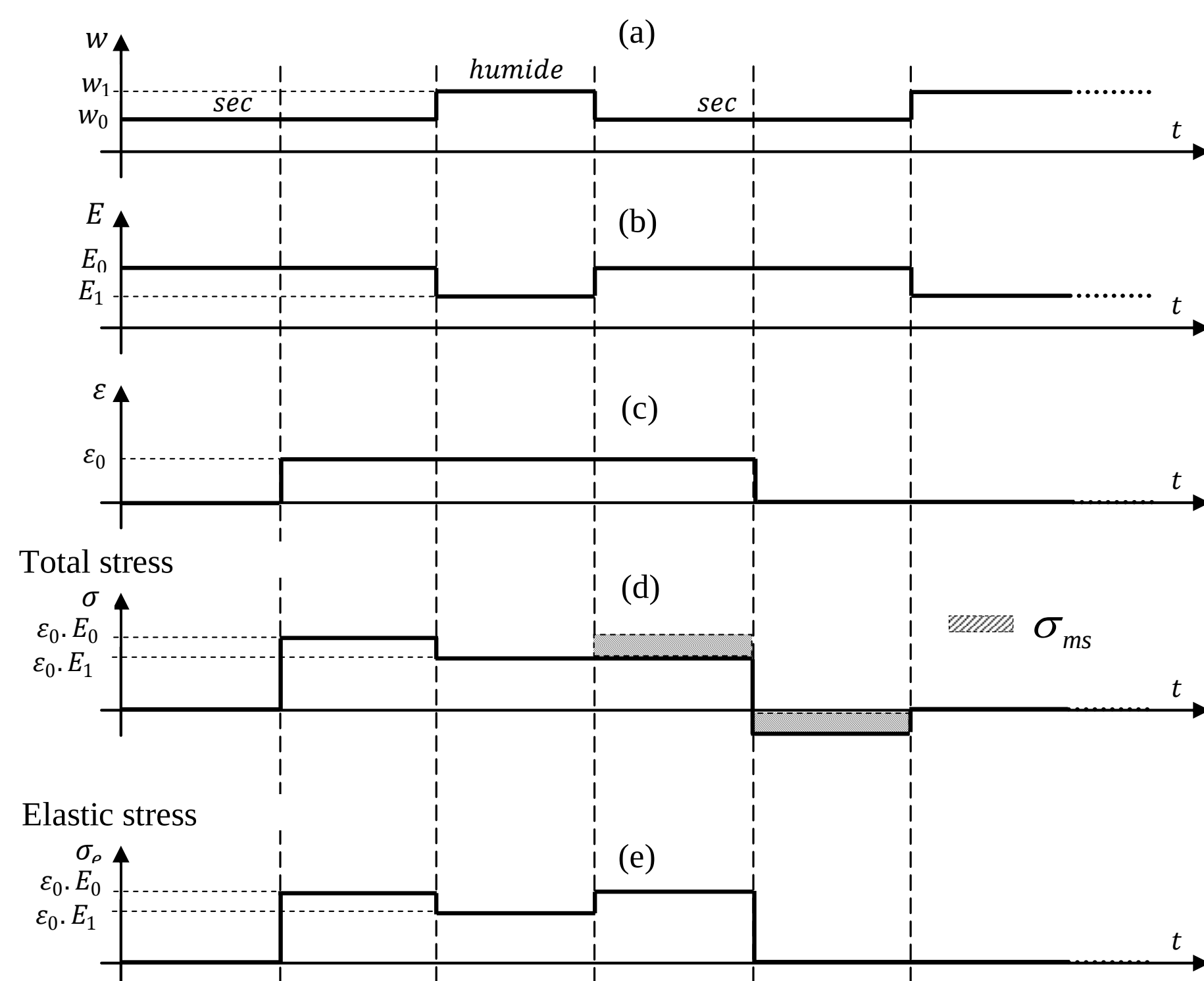


Figure 1: Comportement mécanosorptif

2- Variables thermodynamiques

En supposant une transformation isotherme et en faisant abstraction des déformations hydriques, les variables internes considérées sont :

Variables d'état	Variables associées	Hypothèse :
$\mathcal{E}$	σ	3 ^{ème} loi d'état $\sigma_{ms} = -E(w) \times \varepsilon_{ms}$ $E(w)$: module d'élasticité actuel (fonction du taux d'humidité actuel w)
$\mathcal{E}_{ms}$	σ_{ms}	

3- Développements analytiques du modèle

Loi de comportement (approche en rigidité) $\xrightarrow[\text{Sollicitation quelconque}]{\text{Généralisation}}$ Discrétiser la déformation en incréments finis $\Delta \varepsilon_i$

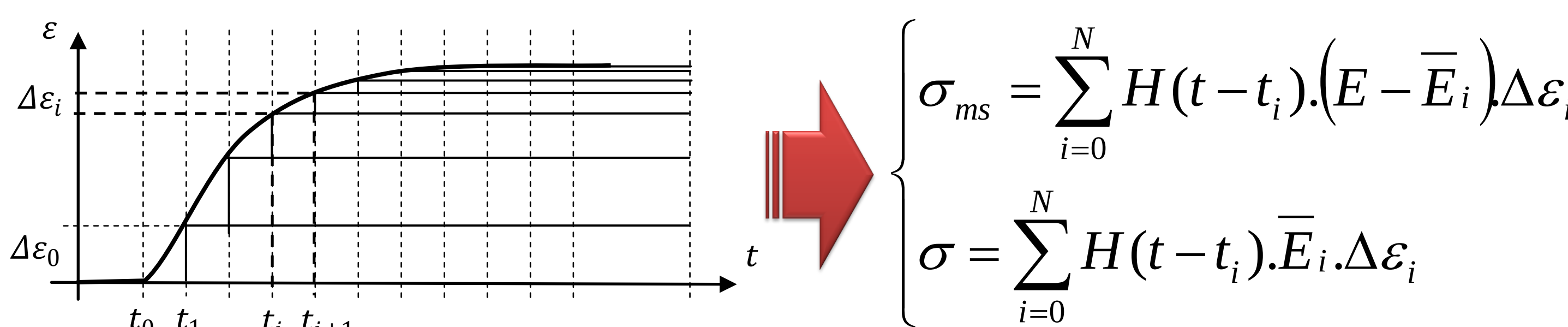


Figure 2: Discrétisation de la déformation

$\bar{E}_i$ module d'élasticité correspondant à $\bar{w}_i$ qui représente la teneur en eau au début de chaque phase i de séchage en présence d'une déformation.

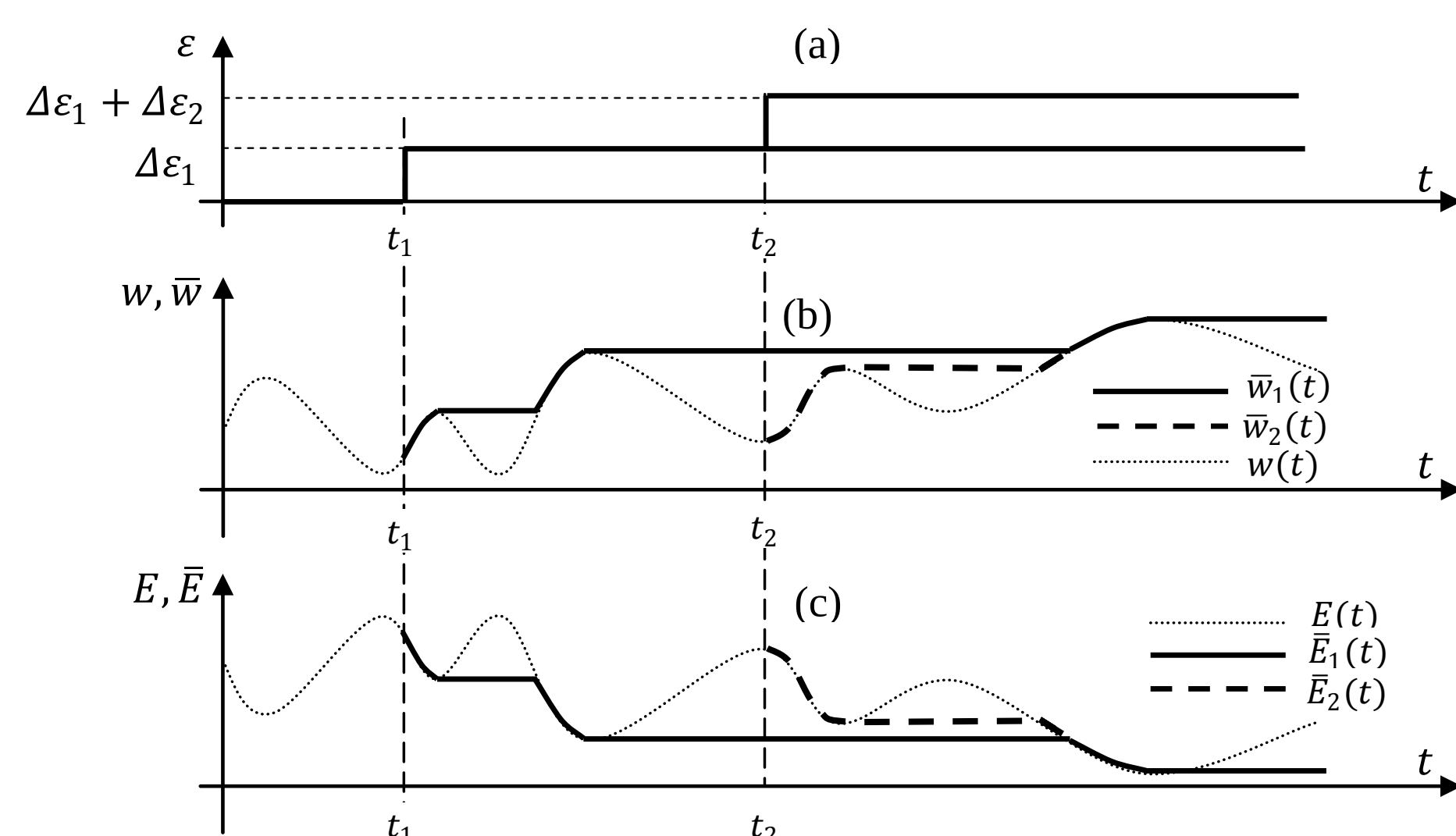


Figure 3: Illustration de la rigidité minimale

De même, on développe l'approche duale en complaisance :

Approche duale $\xrightarrow[\text{partition de déformation}]{\text{Basée sur la}}$

$$\begin{cases} \varepsilon_{ms} = \sum_{i=0}^N H(t-t_i) \cdot \left(\frac{1}{\bar{E}_i} - \frac{1}{E} \right) \cdot \Delta \sigma_i \\ \varepsilon = \sum_{i=0}^N H(t-t_i) \cdot \frac{1}{\bar{E}_i} \cdot \Delta \sigma_i \end{cases}$$

4- Résultats et discussion

Validation de l'approche

Les deux approches sont programmées sous Matlab®. On sollicite un matériau soumis à des variations quelconques de teneur en eau.

NB : dans l'exemple traité, la relation entre la teneur en eau et le module d'élasticité est supposée linéaire.

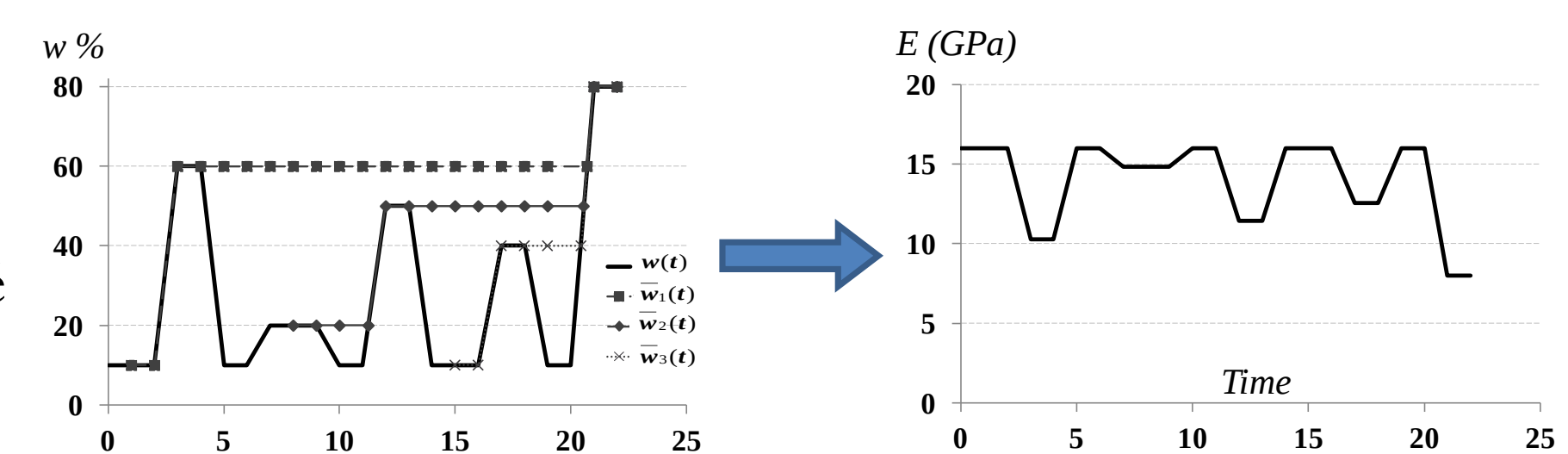


Figure 4: Variations de la teneur en eau et du module d'élasticité

Dans un premier temps, le matériau est sollicité en déformation (Figure 5.(a)), on calcule la réponse en contrainte par l'approche en rigidité (Figure 5.(d)).

Dans un deuxième temps, la contrainte obtenue devient la sollicitation (Figure 5.(d)), la réponse calculée par l'approche en complaisance est la même que la Figure 5.(a).

Ce résultat valide l'équivalence des deux approches développées.

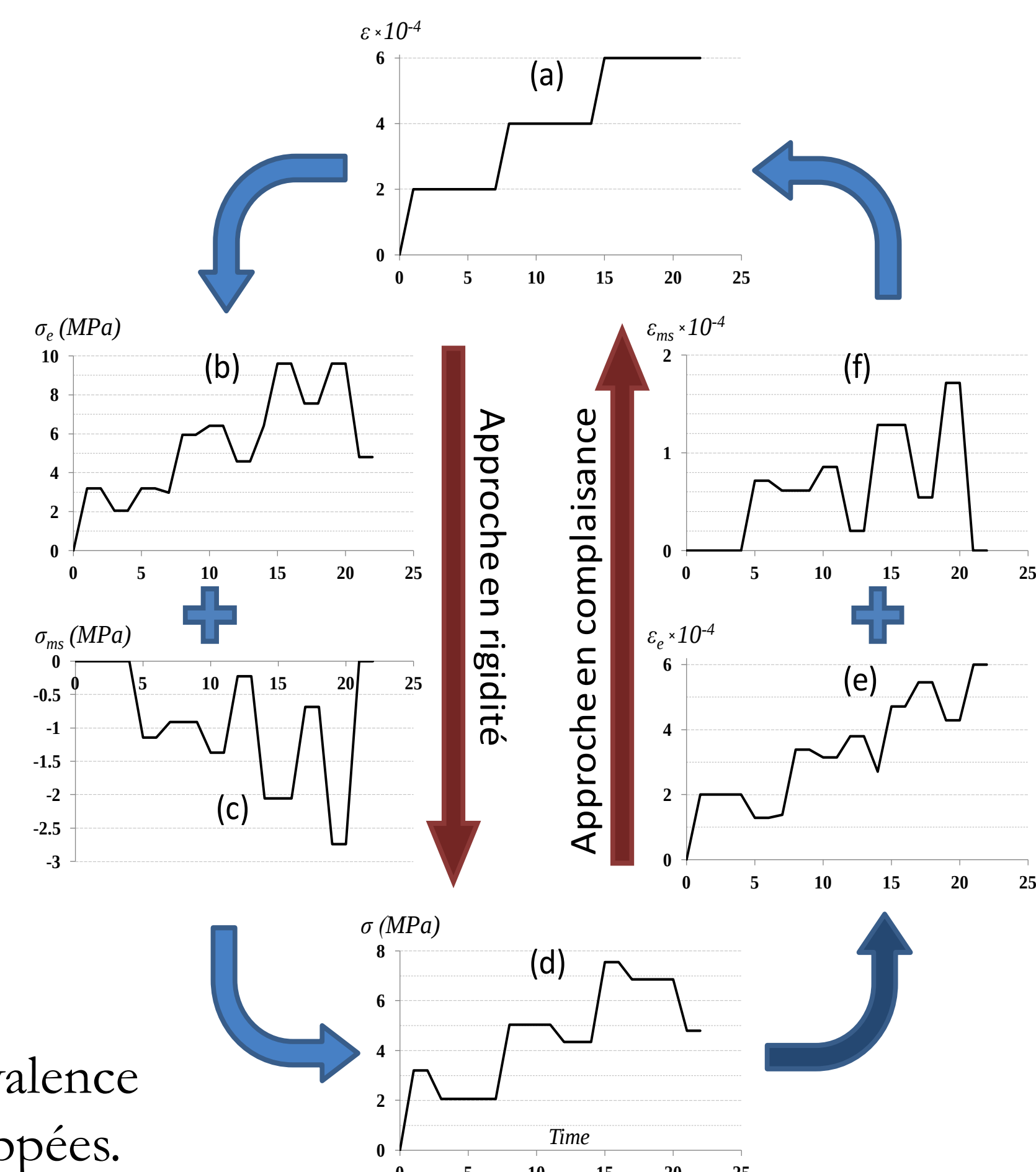


Figure 5: cycle sollicitation-réponse

Comportement sous contrainte et humidité cycliques

La figure 6 montre l'évolution de la déformation totale et de ses partitions (élastique et mécanosorptive) simulée en complaisance pour un échantillon de bois soumis à une sollicitation cyclique en contrainte et humidité :

$$w\% = 50 + 40 \cdot \cos \omega t \quad \sigma = \sigma_m + \sigma_a \cdot \cos(\omega t + \phi) \quad \sigma_m = \sigma_a = 3 \text{ MPa}$$

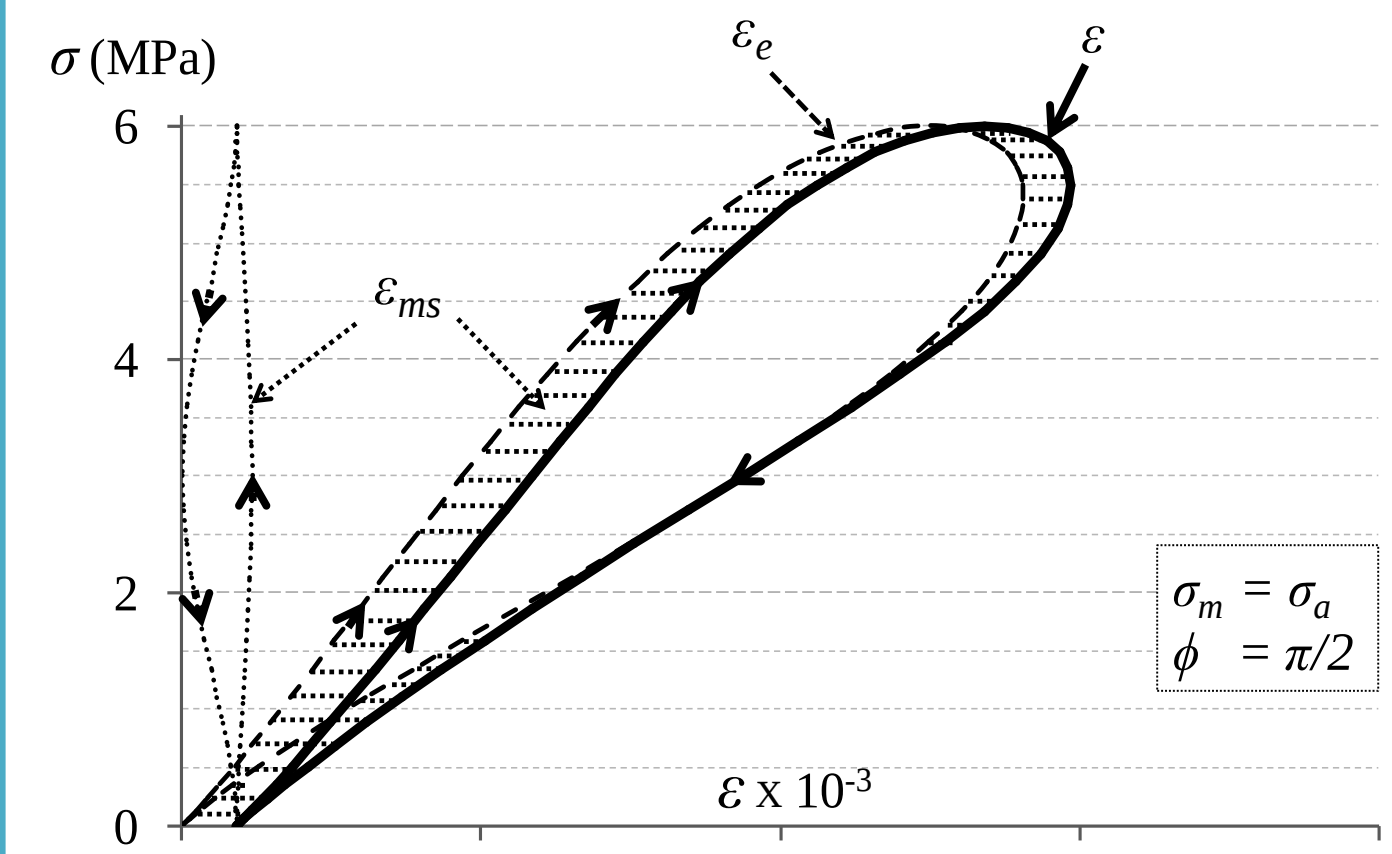


Figure 6: courbes contrainte-déformations calculées pour un cycle de chargement/humidité sinusoïdal

Le diagramme contrainte-déformation prend la forme de boucle d'hystérésis stables.

La déformation mécanosorptive créée en début de cycle (séchage sous contrainte) est ensuite libérée durant la phase d'humidification.

5- Conclusion et perspectives

L'ensemble des résultats obtenus montre l'efficacité du modèle quant à la modélisation du comportement mécanosorptif dans le matériau bois.

La poursuite de ce travail concerne le couplage avec un modèle viscoélastique afin de prendre en compte les effets de fluage ou de relaxation et la généralisation au cas 3D prenant en compte le comportement orthotrope du bois.