

Simulation du comportement des voies ferroviaires ballastées sous circulation : approche par la méthode stationnaire

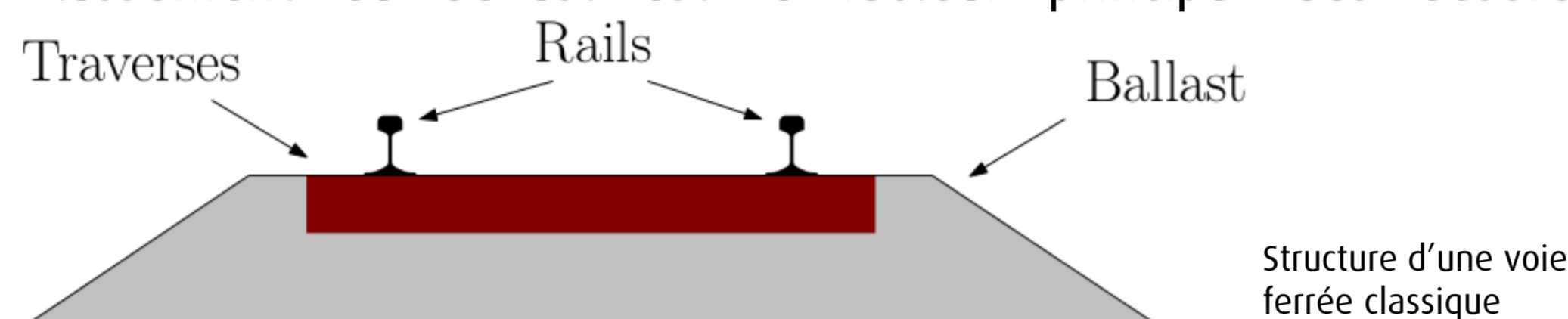
Thibault Badinier^{1,2}; Siegfried Maïolino¹; Habibou Maïournam²

¹ Cerema Centre-Est; Département Laboratoire de Lyon; Bron

² Institut de Sciences de la Mécanique et Applications Industrielles (IMSIA, EMR 9219); ENSTA ParisTech; Palaiseau

Introduction

La conservation de la géométrie des voies ferrées assure la sécurité et la qualité du service pour les usagers. Le tassement du ballast est le facteur principal des désordres géométriques.

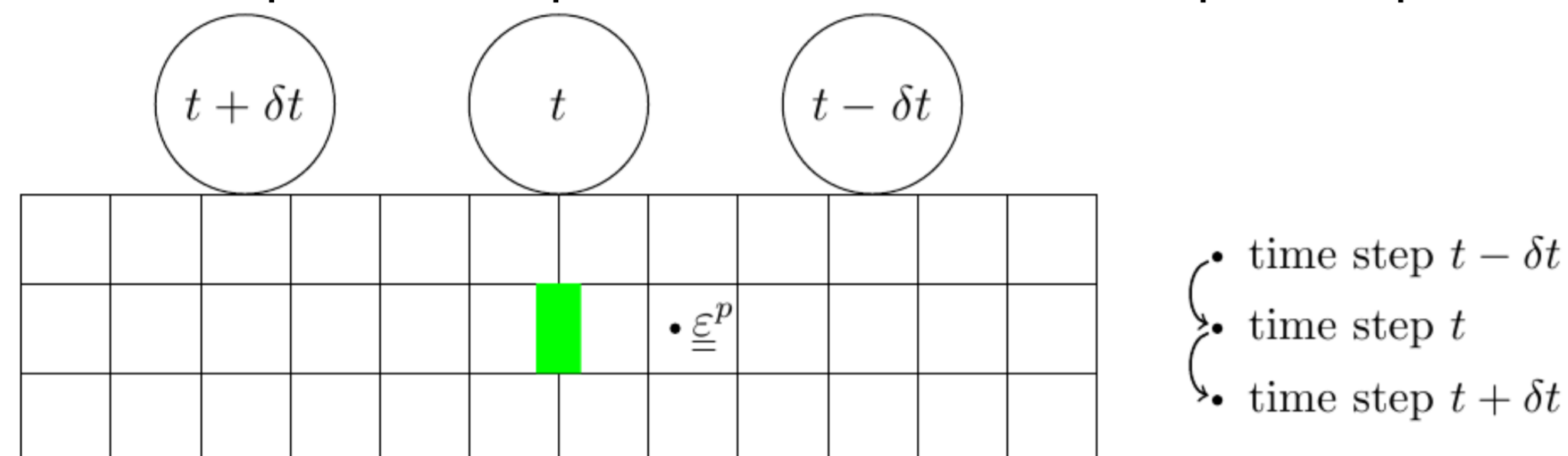


La voie supporte la circulation des trains ce qui représente pour elle une sollicitation mobile et cyclique. Les sollicitations cycliques mobiles ou immobiles influent différemment sur l'évolution des déformations irréversibles. Il est donc primordial de représenter finement l'influence du mouvement de la charge sur la structure. Nous étudions le comportement du ballast par des modélisations numériques, en utilisant deux types d'approches différentes.

Objectif: réduire le temps de calcul en obtenant des résultats similaires

Approche par incrément de temps

Le mouvement est décrit par une succession d'états statiques. À chaque étape, les états de contraintes-déformations élastoplastiques sont recalculés. La charge est ensuite déplacée à la position suivante. On passe de la phase de calcul $t - \delta t$ à la phase t puis $t + \delta t$, etc..



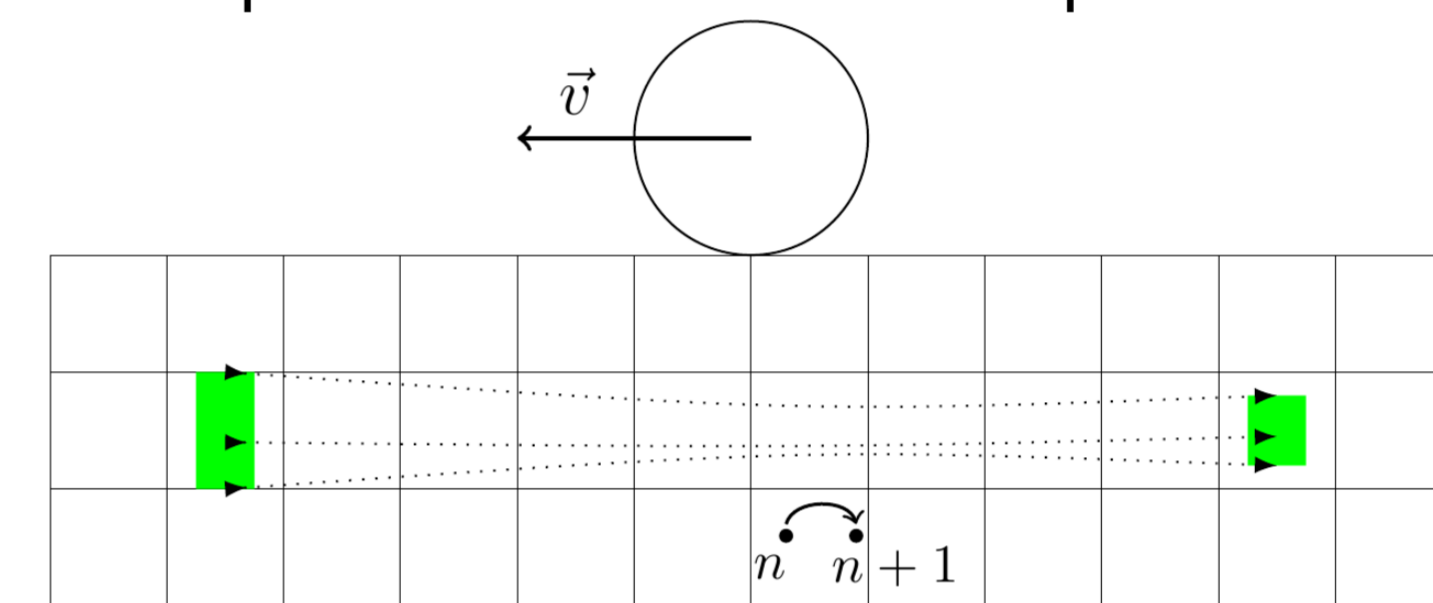
Le calcul des déformations permanentes à l'instant $t + \delta t$ est fait en utilisant l'état à l'instant t immédiatement précédent.

$$\underline{\underline{\varepsilon}}_{t+\delta t}^p = \underline{\underline{\varepsilon}}_t^p + \lambda \frac{\partial f(\underline{\underline{\sigma}})}{\partial \underline{\underline{\sigma}}}$$

- + Simple à mettre en place et à appliquer
- + Applicable à de nombreuses structures et de nombreux cas de chargement
- Nombreuses résolutions, coût de calcul très élevé

Approche stationnaire

L'observation se fait dans le référentiel lié à la charge, la structure est vue en mouvement. La méthode suppose une invariance du cas de chargement. Il y a correspondance entre l'évolution temporelle et spatiale des états de contraintes-déformations aux points étudiés. L'état actuel du point n correspond à l'état antérieur du point $n + 1$.



Le calcul des déformations permanentes au point $n + 1$ se fait par incrément après transfert des déformations depuis le point n .

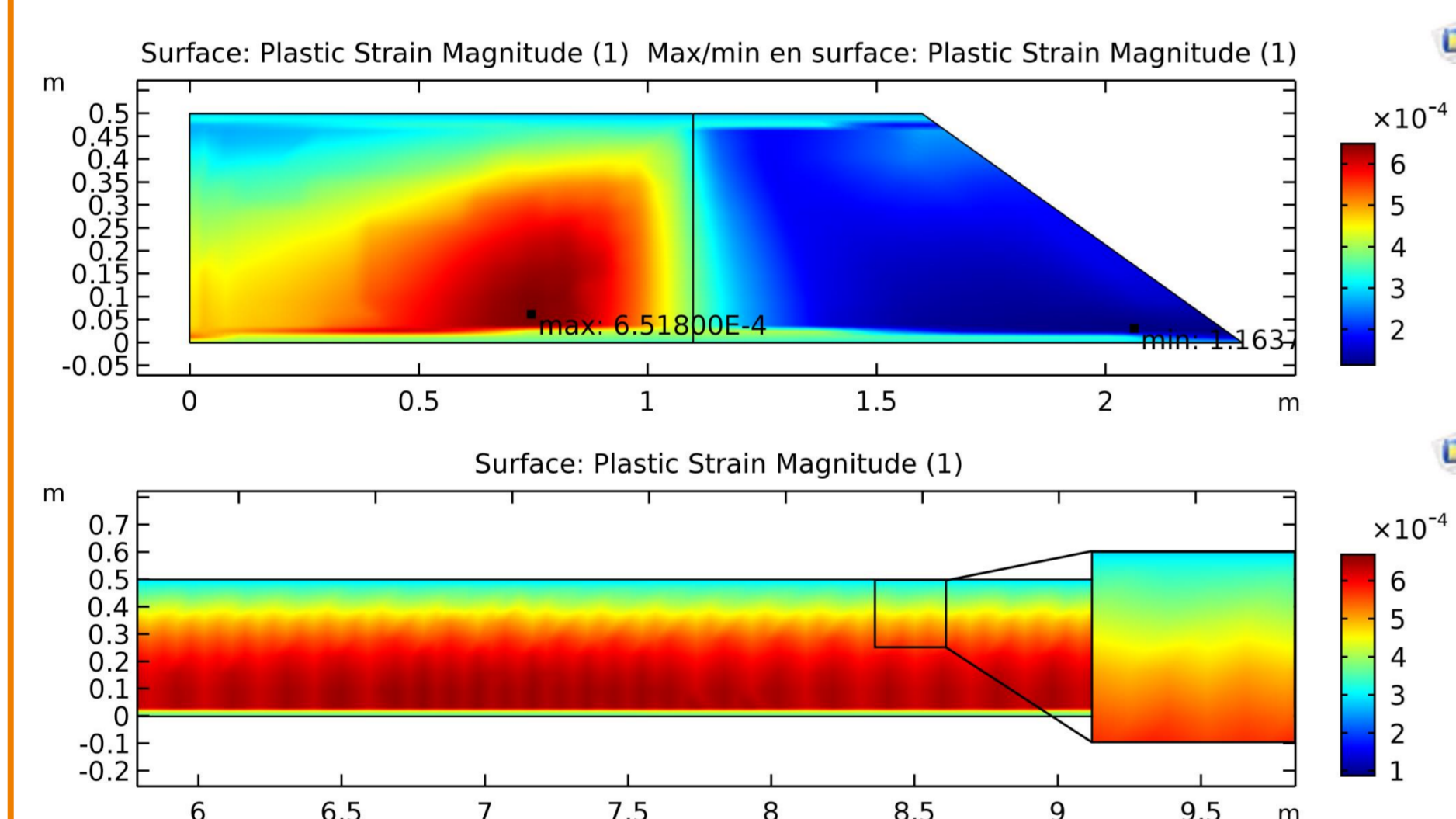
$$\underline{\underline{\varepsilon}}_{n+1}^p = \underline{\underline{\varepsilon}}_n^p + \lambda \frac{\partial f(\underline{\underline{\sigma}})}{\partial \underline{\underline{\sigma}}}$$

- Cas de chargement restreint: structure uniforme, charge et vitesse constante.
- + Une seule résolution, économe en temps de calcul.

Comparaison des deux approches et validation de la méthode stationnaire

Application des deux méthodes sur un même modèle 3D de voie ferrée, dans les mêmes conditions de sollicitation. Mesure de l'amplitude des déformations plastiques après un chargement.

-Méthode incrémentale : 4j 13h 43min de calcul (57 étapes)

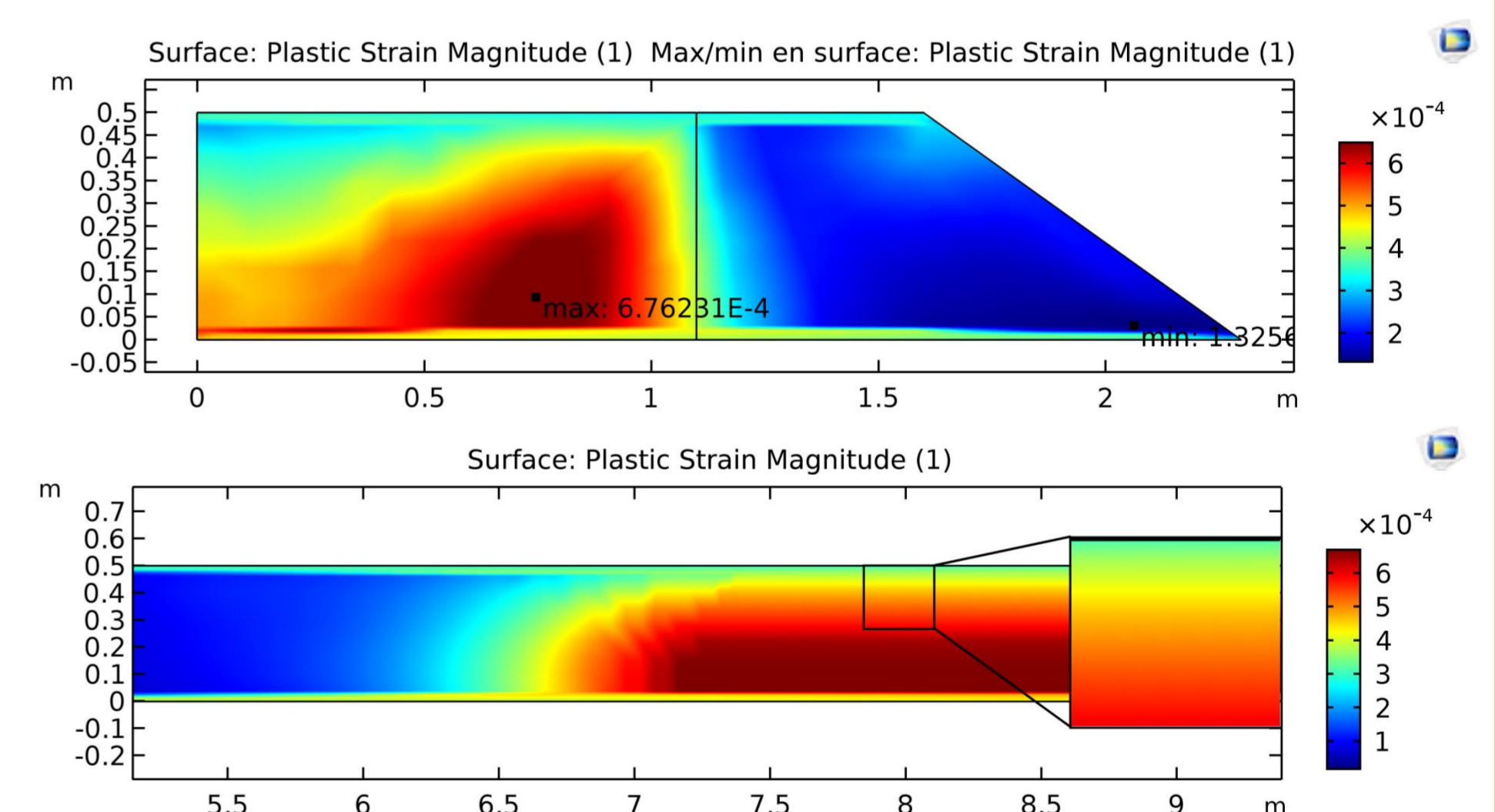


Mesure en coupe transversale dans une zone représentative de la structure après passage de la charge : résultat similaire, même répartition et même amplitude. **Méthode stationnaire satisfaisante.**

Mesure en coupe longitudinale dans la zone centrale :
- La méthode incrémentale fait apparaître des **irrégularités** au contraire de la méthode stationnaire.

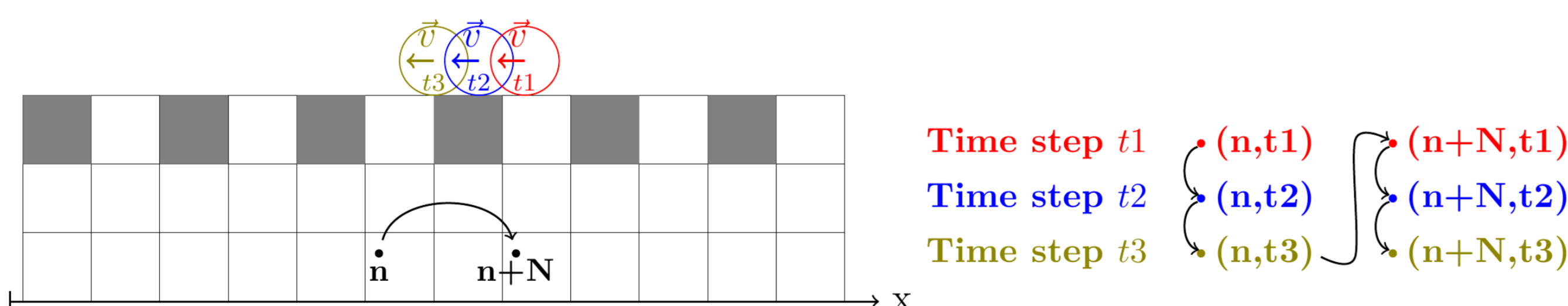
- La méthode stationnaire permet une **lecture rapide et immédiate de l'évolution des déformations au cours du cycle**. Les éléments le long du graphique sont représentatifs des différents stades d'évolution des déformations. À gauche, l'état de la structure avant le passage, à droite l'état après le cycle de chargement.

-Méthode stationnaire : 1h 36min de calcul (1 étape)

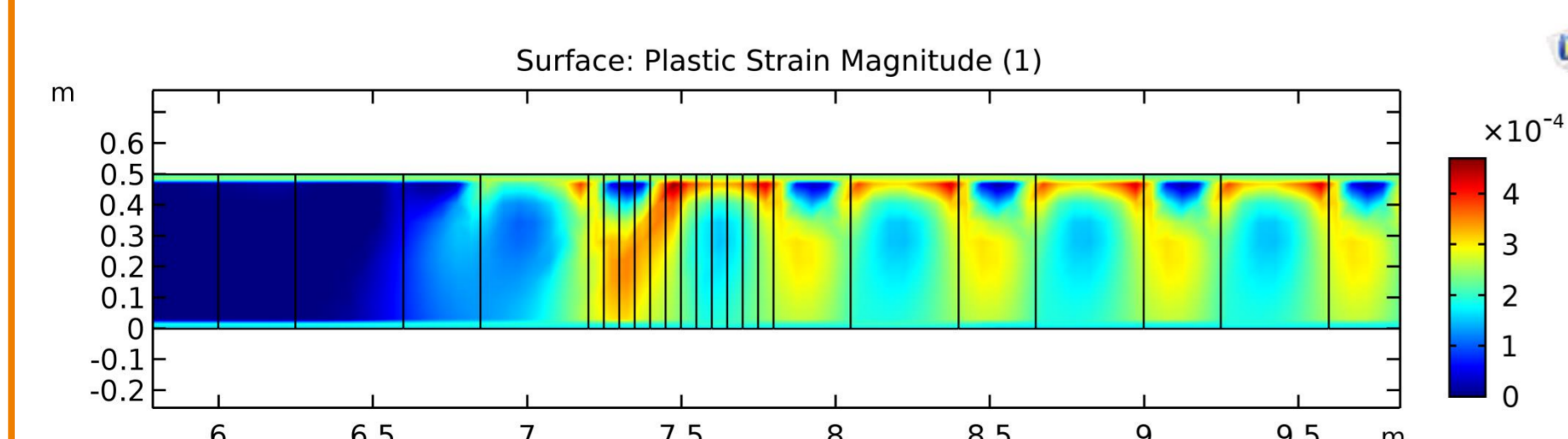


Adaptation de la méthode stationnaire aux structures périodiques

Dans le cas d'une structure périodique, on adapte la méthode stationnaire. Du fait de la structure périodique, seuls les états mesurés en des points distants d'une période correspondent à des états successifs. Pour affiner le découpage temporel, on subdivise la description du mouvement en déplaçant la charge sur la longueur d'une période. On utilise un double transfert temporel et spatial des déformations.



$$\underline{\underline{\varepsilon}}_{n,t}^p = \underline{\underline{\varepsilon}}_{n,t-1}^p + \lambda \frac{\partial f(\underline{\underline{\sigma}})}{\partial \underline{\underline{\sigma}}} \quad \text{si } t \neq 1; \quad \underline{\underline{\varepsilon}}_{n,t}^p = \underline{\underline{\varepsilon}}_{n-N,T}^p + \lambda \frac{\partial f(\underline{\underline{\sigma}})}{\partial \underline{\underline{\sigma}}} \quad \text{si } t = 1$$



11h 12min de calcul (6 étapes)
+ Répartition périodique des déformations.

Conclusion

L'approche numérique du comportement élastoplastique du ballast d'une voie ferrée doit prendre en compte les spécificités liées aux chargements mobiles dus à la circulation des trains. Plusieurs méthodes sont utilisées :

- la méthode par incrément de temps : simple d'utilisation et applicable à une grande variété de structure. Elle nécessite néanmoins un temps de calcul très élevé.
 - la méthode stationnaire : plus complexe à utiliser et seulement applicable à certaines structures et certains cas de chargement. Elle permet en revanche des calculs beaucoup plus rapides. Pour une même application et en comparaison de la première méthode, elle donne des résultats satisfaisants en un temps de calcul grandement réduit. Elle permet aussi un accès rapide à l'évolution temporelle des déformations.
 - l'adaptation de la méthode stationnaire pour les structures périodiques, telles qu'une voie ferrée comportant des traverses. Cette version adaptée de la méthode permet son application à une gamme de structure plus large, en gardant un temps de calcul fortement réduit.
- Les méthodes stationnaires sont en général très efficaces, et sont applicables à de nombreux domaines et à de nombreux problèmes comprenant des chargements mobiles.