

Revue mecanique MITC4 en dynamique transitoire

Objet de la revue

Ce document permet la revue humaine du scope `mitc4-transient-dynamic` de QF_solver. Il rassemble la definition mecanique, la formulation temporelle, les resultats de convergence, les contraintes de face, les bilans d'energie et la correlation externe Code_Aster.

[Telecharger la version PDF de la revue](#)

La campagne automatique est **PASS**. Quentin Farinazzo valide l'etude le 16 juillet 2026 avec la decision `accepted_with_recommendations` pour un usage `engineering_internal`, sous les limites explicites de la section finale. Le scope reste `candidate` dans le registre de qualification: la decision est une validation mecanique interne, pas une qualification ou certification.

Champ	Valeur avant revue
Valideur prevu	Quentin Farinazzo
Role	auteur et valideur mecanique
Mode de revue	<code>self_review</code>
Independence	<code>not_independent</code>
Scope	<code>mitc4-transient-dynamic</code>
Readiness automatique	PASS , 14/14 exigences
Statut technique	<code>ready_for_human_review</code>
Decision humaine	<code>accepted_with_recommendations</code>
Revendication de certification	aucune

Perimetre analyse

Le perimetre candidat couvre:

- coques MITC4 isotropes homogenes d'epaisseur constante par element;
- petits déplacements et petites rotations;
- dynamique lineaire deterministe;
- masse coherente Reissner-Mindlin;
- condensation statique des rotations de drilling sans masse;
- schema Newmark a acceleration moyenne, `beta=0,25` , `gamma=0,5` ;
- amortissement de Rayleigh proportionnel a la masse dans ce perimetre;
- charges nodales avec impulsion demi-sinus, chirp lineaire ou table arbitraire;
- déplacements, vitesses, accelerations, energies, residus et contraintes de face `S11` , `S22` , `S12` .

Ne sont pas couverts: grandes rotations, flambement, contact, plasticite, composites, epaisseur variable, excitation de base, PSD, vibration aleatoire, choc non lineaire, amortissement hysteretique et couplage fluide-structure.

Modele de controle

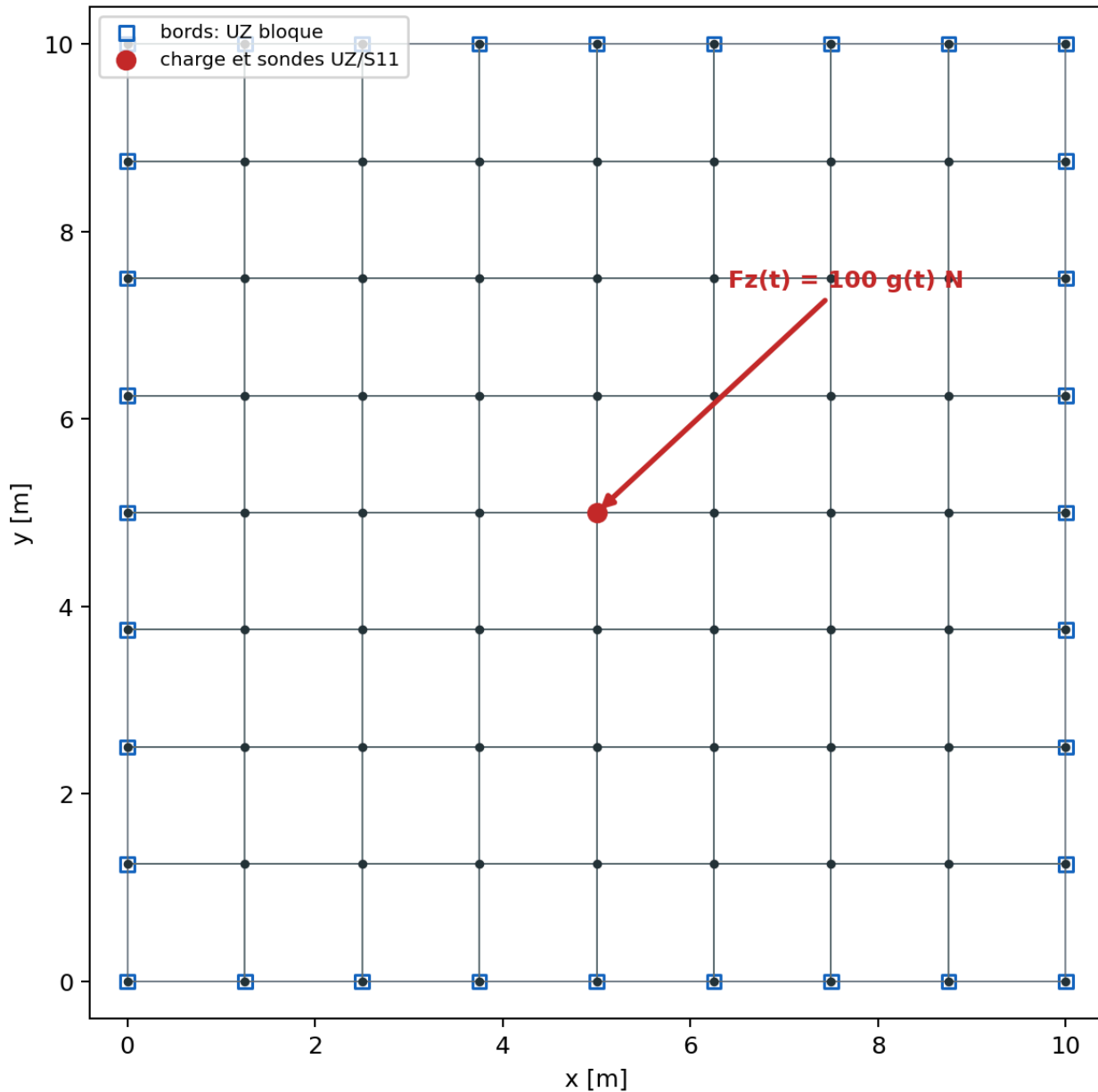
La campagne utilise la plaque carree du cas NAFEMS 13H, mais remplace la pression harmonique par une force nodale temporelle au centre.

Donnee	Valeur
Dimensions	10 m x 10 m
Epaisseur	0,05 m
Module d'Young	200 GPa
Coefficient de Poisson	0,3
Masse volumique	8000 kg/m3
Maillage	8 x 8 , soit 64 MITC4 et 81 noeuds
Noeud charge et sonde	centre, index QF_solver 40
Charge de reference	Fz = 100 N
Premiere frequence MITC4	2,417887758 Hz
Amortissement cible au premier mode	2 %
Coefficient de Rayleigh	alpha = 0,607681473 s-1 , beta_R = 0

Les conditions aux limites reproduisent le contrat de plaque simplement appuyee du cas controle:

- UX , UY et RZ sont bloques sur tous les noeuds;
- UZ est bloque sur les quatre bords;
- RY est bloque sur les bords horizontaux;
- RX est bloque sur les bords verticaux;
- la charge et les sondes UZ/S11 sont placees au centre.

Plaque NAFEMS 13H - maillage MITC4 8x8 - chargement transitoire central



Tous noeuds: $U_x=U_y=R_z=0$ | bords horizontaux: $R_y=0$ | bords verticaux: $R_x=0$

Point de revue: vérifier que ces blocages représentent bien le cas de plaque contrôle et qu'ils ne doivent pas être généralisés à une coque quelconque.

Formulation temporelle vérifiée

Le système semi-discret est:

$$M \dot{a}(t) + C v(t) + K u(t) = f(t)$$
$$C = \alpha M + \beta_R K$$

u , v et a désignent respectivement le déplacement, la vitesse et l'accélération. M , C et K sont les matrices de masse, d'amortissement et de rigidité.

Newmark utilise:

```

u_(n+1) = u_n + Delta_t v_n
          + Delta_t^2 [(1/2 - beta) a_n + beta a_(n+1)]

v_(n+1) = v_n
          + Delta_t [(1 - gamma) a_n + gamma a_(n+1)]

```

Avec $\beta=1/4$ et $\gamma=1/2$, la matrice effective est constante:

```

K_eff = K + [gamma / (beta Delta_t)] C
           + [1 / (beta Delta_t^2)] M

```

La stabilité inconditionnelle du schéma linéaire ne garantit pas sa précision. La vérification emploie donc trois pas, $T1/40$, $T1/80$ et $T1/160$, et mesure l'ordre observé.

Reference temporelle independante

L'oracle ne reprogramme pas Newmark. Il diagonalise le système réduit avec des modes massivement normalisés:

```

K Phi = M Phi Lambda
Phi^T M Phi = I

```

Chaque coordonnée modale satisfait:

```

qddot_i + c_i qdot_i + lambda_i q_i = p_i(t)

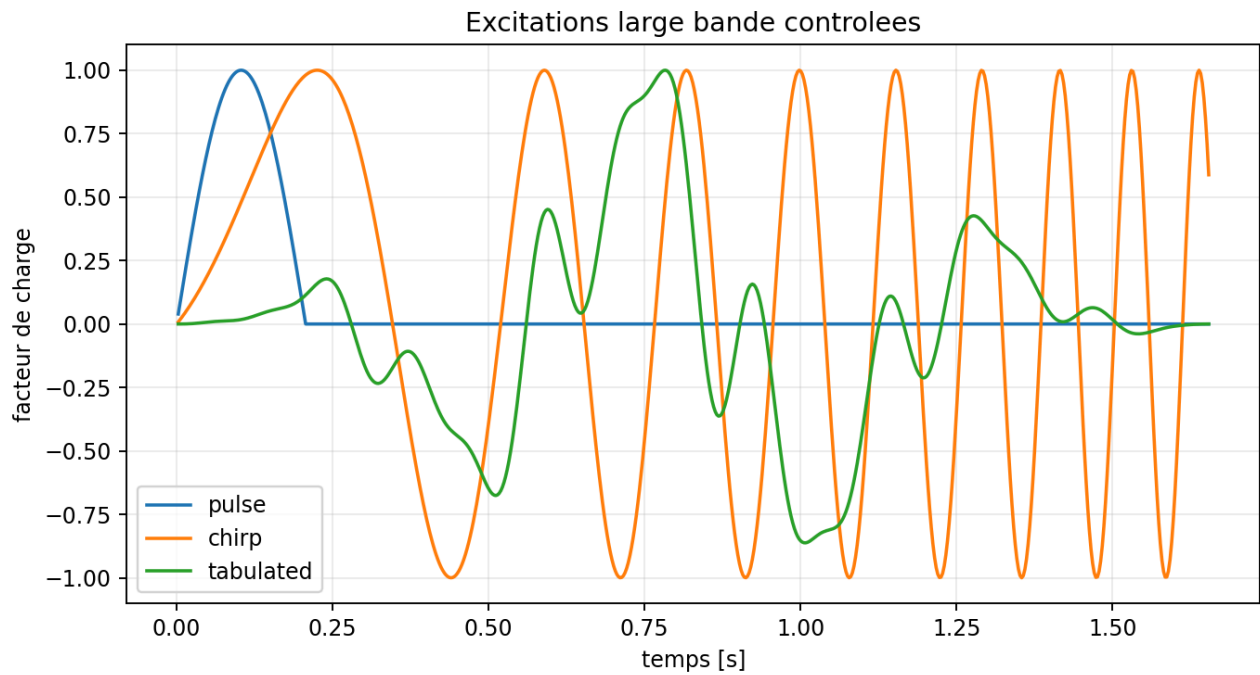
```

La charge est affine sur chaque intervalle. L'état augmenté $[q_i, \dot{q}_i, p_i, \dot{p}_i]$ est propagé exactement par exponentielle de matrice. Cette preuve est indépendante de l'intégrateur temporel, mais partage les matrices MITC4: elle vérifie le temps, pas la discrétisation spatiale.

Excitations controlees

Trois signaux complémentaires sont utilisés:

1. **Impulsion demi-sinus**: excitation courte de durée $T1/2$, nulle ensuite.
2. **Chirp linéaire**: balayage de $0,2 f1$ à $4 f1$ sur quatre périodes.
3. **Table arbitraire**: somme modulée de composantes $0,7 f1$, $2,3 f1$ et $3,7 f1$, interpolée linéairement.

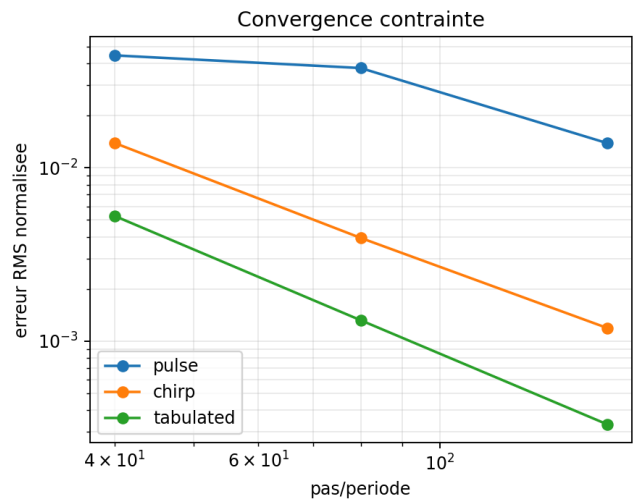
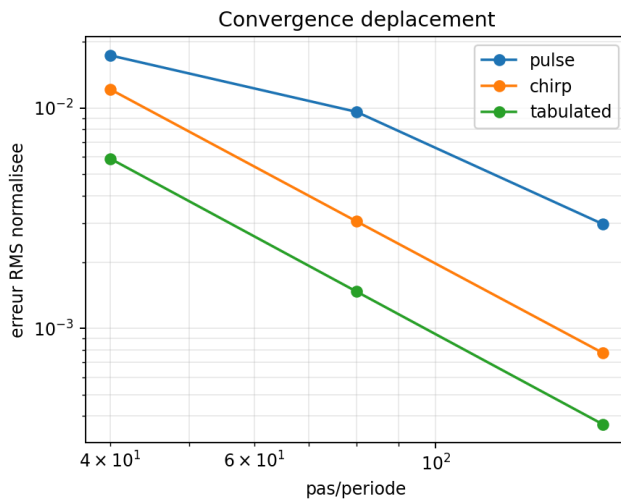


Convergence temporelle

Erreurs RMS de deplacement et contrainte

Signal	Pas/periode	RMS UZ	RMS S11	Bilan energie	Residu relatif max
impulsion	40	1,732 %	4,452 %	0,272 %	8,24e-12
impulsion	80	0,960 %	3,763 %	0,072 %	9,79e-12
impulsion	160	0,298 %	1,390 %	0,018 %	9,47e-12
chirp	40	1,216 %	1,392 %	0,569 %	1,76e-11
chirp	80	0,306 %	0,394 %	0,135 %	2,06e-11
chirp	160	0,077 %	0,119 %	0,034 %	2,06e-11
table	40	0,589 %	0,528 %	0,338 %	1,21e-11
table	80	0,147 %	0,132 %	0,084 %	1,39e-11
table	160	0,037 %	0,033 %	0,021 %	1,44e-11

Les seuils sont 2 % sur les erreurs RMS et le bilan d'energie, 3 % sur les pics et 1e-7 sur le residu relatif. Tous les criteres passent au pas fin.

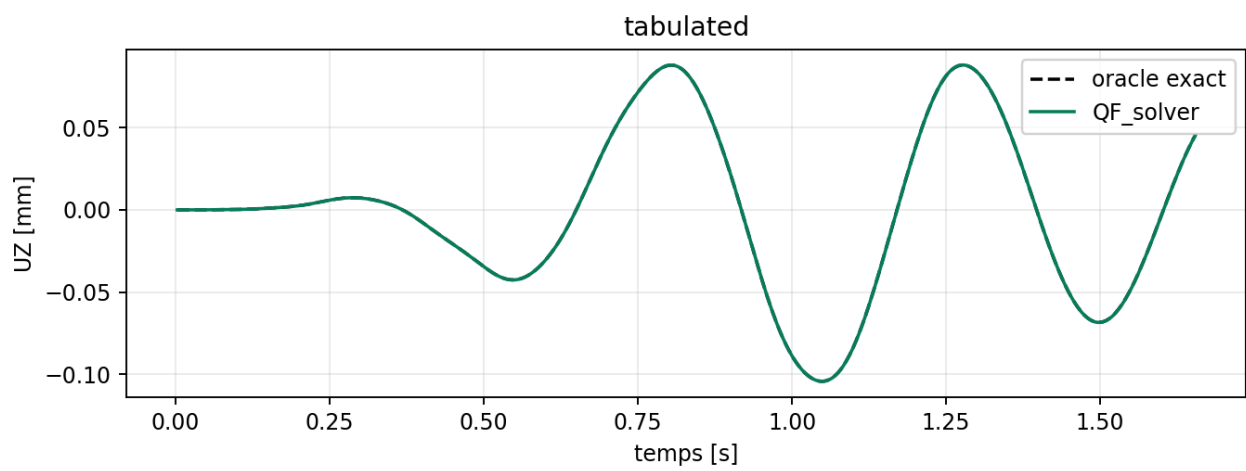
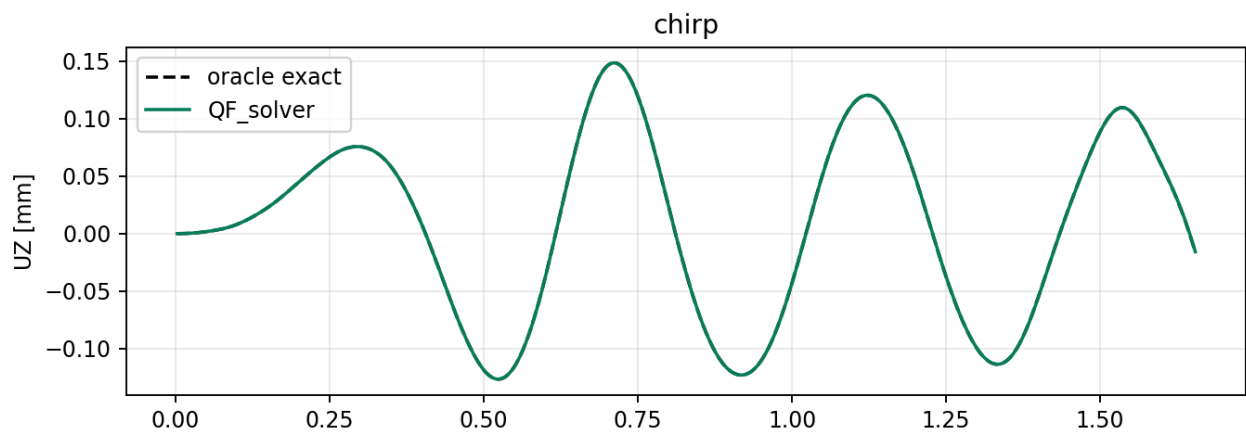
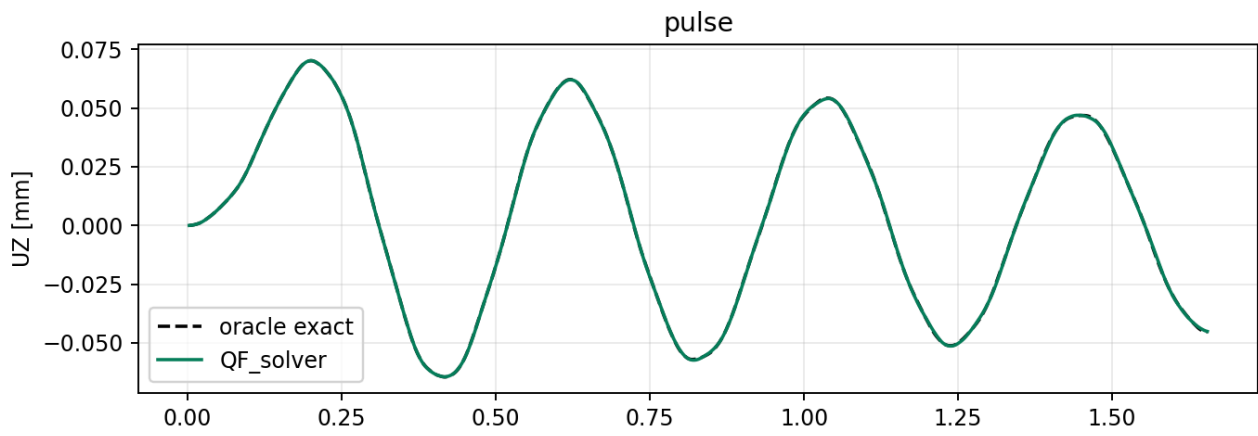


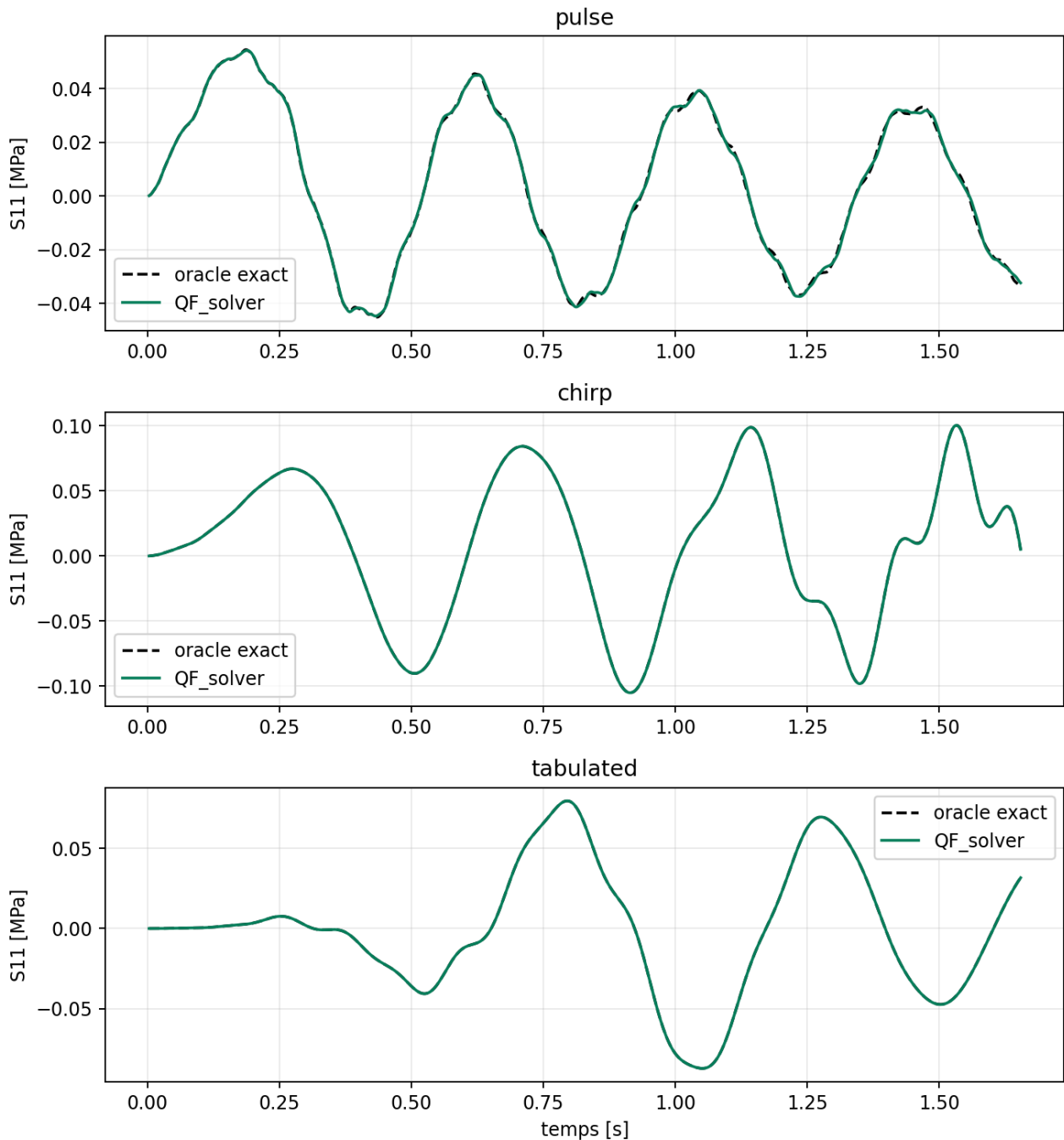
Ordres observes

Signal	Ordre 40 vers 80	Ordre 80 vers 160	Interpretation
impulsion	0,851	1,690	convergence monotone, ordre reduit par le contenu haute frequence
chirp	1,990	1,982	ordre deux confirme
table	2,003	2,000	ordre deux confirme

L'impulsion est continue mais sa derivee change brutalement au debut et a la fin. Elle excite plus fortement les modes eleves; l'ordre asymptotique se rapproche de deux sans l'atteindre sur ces trois niveaux. Cette observation est acceptee comme une recommandation de raffinement, pas masquee dans la conclusion.

Historiques de deplacement et de contrainte





La contrainte est recuperee au noeud central par moyenne des facettes MITC4 coplanaires adjacentes. S_{11} est exprimee dans le repere local de coque et sur la face superieure $z=+t/2$. Une moyenne nodale ne doit pas etre utilisee pour masquer une singularite ou un saut de materiau.

Bilan energetique au pas fin

Le controle emploie:

$$E_m(t) + \int_0^t [v^T C v] d\tau - \int_0^t [v^T f] d\tau = 0$$

$$E_m(t) = 0,5 v^T M v + 0,5 u^T K u$$

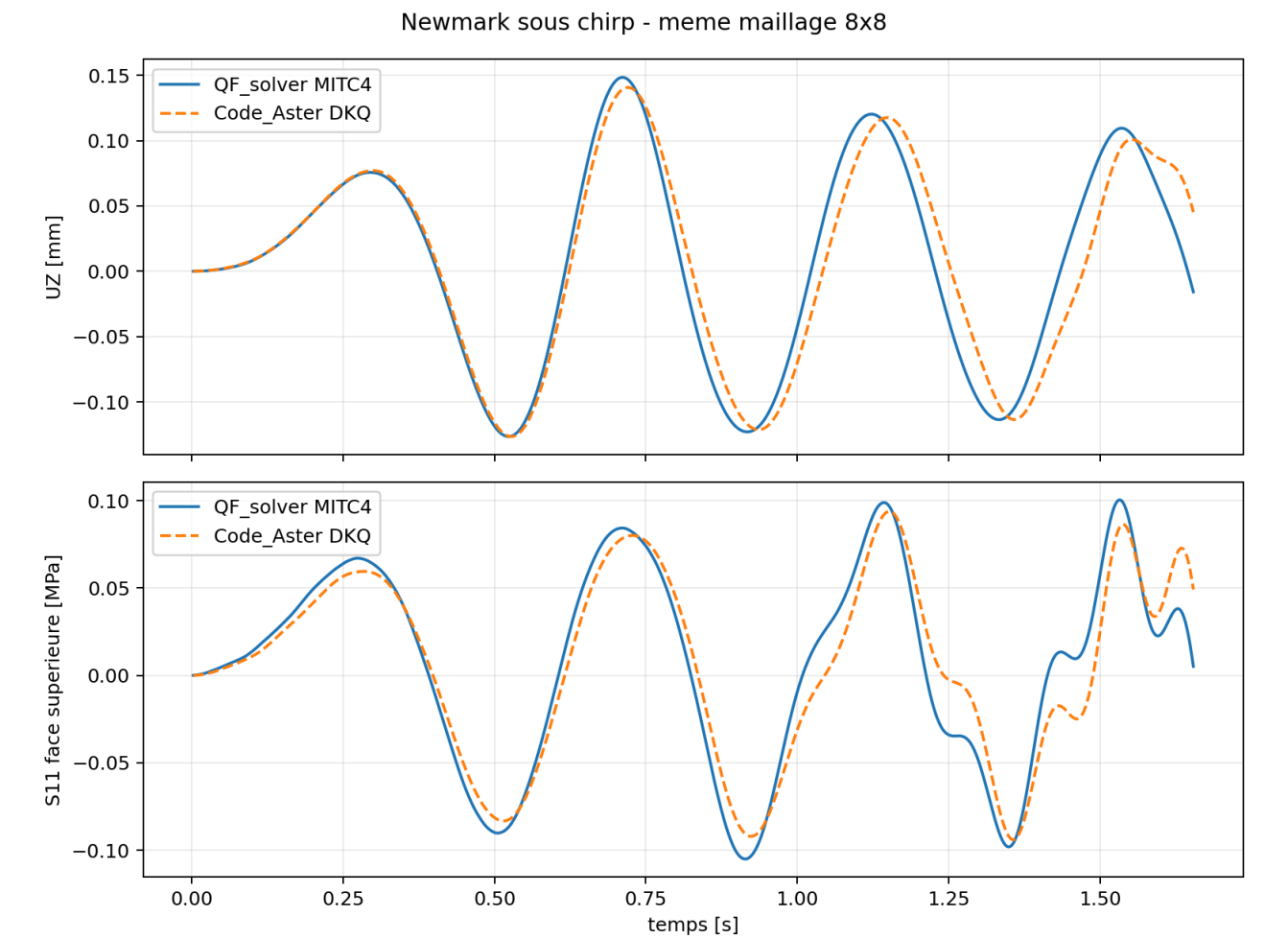
Le premier terme de E_m est l'energie cinetique et le second l'energie de deformation elastique.

Signal	Travail externe	Dissipation	Energie finale	Ecart relatif
impulsion	5,4955e-3 J	3,2936e-3 J	2,2009e-3 J	0,0177 %
chirp	2,3841e-2 J	1,3970e-2 J	9,8627e-3 J	0,0337 %
table	8,4370e-3 J	4,0076e-3 J	4,4277e-3 J	0,0211 %

Correlation externe Code_Aster

Code_Aster 18.1.0 est execute localement avec la modelisation DKT/DKQ. Le maillage 8x8 , les blocages, la force, le chirp, le coefficient alpha et les 640 pas sont identiques. La comparaison porte sur les historiques signes.

Indicateur	Valeur	Critere	Verdict
ecart de pic UZ	5,205 %	<= 10 %	PASS
ecart de pic S11	10,509 %	<= 15 %	PASS
correlation UZ	0,95430	>= 0,90	PASS
correlation S11	0,95602	>= 0,85	PASS
ecart RMS UZ	15,783 %	informatif	trace
ecart RMS S11	15,759 %	informatif	trace



Les ecarts RMS sont superieurs aux ecarts de pic parce que MITC4 Reissner-Mindlin et DKQ Kirchhoff n'ont pas exactement les memes frequences; une derive de phase s'accumule sur quatre periodes. Le signe de S11 n'a pas necessite d'inversion (facteur=+1). L'oracle exponentiel reste la reference d'acceptation temporelle; Code_Aster est la correlation spatiale externe.

Synthese des preuves

Axe de preuve	Resultat	Niveau
parametres Newmark et valeurs finies	PASS	unitaire
residu dynamique	$\leq 2,06e-11$	invariant numerique
bilan d'energie	$\leq 0,034 \%$ au pas fin	invariant mecanique
convergence charges lisses	ordre voisin de 2	verification analytique
impulsion courte	ordre 0,85 puis 1,69	verification avec recommandation
deplacement contre oracle	$\leq 0,298 \%$ RMS	verification temporelle
contrainte contre oracle	$\leq 1,390 \%$ RMS	verification temporelle
Code_Aster meme maillage	pics et correlations PASS	correlation externe
readiness du scope	14/14 exigences	tracabilite

Points a examiner par le validateur

- [x] La geometrie, le maillage et les conditions aux limites sont compris et juges coherents pour le cas de controle.
- [x] Les trois excitations couvrent suffisamment le besoin transitoire lineaire vise.
- [x] La convergence de UZ et S11 est jugee satisfaisante.
- [x] L'ordre reduit de l'impulsion est accepte avec recommandation de pas fin.
- [x] Les bilans d'energie et residus sont juges satisfaisants.
- [x] La convention de face superieure et de signe de S11 est acceptee.
- [x] La correlation Code_Aster et ses differences de formulation sont comprises et acceptees.
- [x] Les limites d'emploi ci-dessous sont acceptees et seront communiquees aux utilisateurs.

Recommandation technique proposee

L'ensemble des criteres automatiques passe. La decision enregistree accepte le scope pour un usage engineering interne avec les recommandations suivantes:

ID	Recommandation	Priorite
REC-DYN-TR-001	imposer une etude de pas pour tout contenu impulsif ou toute frequence d'interet nouvelle	haute
REC-DYN-TR-002	ajouter un cas dynamique de coque courbe ou distordue	moyenne
REC-DYN-TR-003	obtenir une extraction native des contraintes Code_Aster	moyenne
REC-DYN-TR-004	ajouter excitation de base, amortissement modal puis PSD dans des scopes separes	future
REC-DYN-TR-005	obtenir une revue independante avant toute qualification externe	obligatoire pour qualification

Decision du validateur

Cocher une seule decision apres examen:

- [] accepted
- [x] accepted_with_recommendations

- [] rework_required
- [] rejected

Commentaires du validateur:

.....

.....

Signature	Valeur a renseigner
Nom	Quentin Farinazzo
Role	auteur et validateur mecanique
Date	2026-07-16
Decision	accepted_with_recommendations
Signature/revision approuvee	declaration self_review ; baseline Git propre encore requise

Cette auto-revue n'est pas une verification independante et ne constitue ni une certification logicielle ni une qualification externe.

Preuves et reproductibilite

- results/VNV-MITC4-NEWMARK-FREE-002/summary.json
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-DAMPED-FORCED-003/summary.json
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-BROADBAND-004/summary.json
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-BROADBAND-004/vnv_manifest.json
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-CODEASTER-DKQ-005/summary.json
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-CODEASTER-DKQ-005/nafems13h_newmark.comm
- results/VNV-MITC4-NEWMARK-CODEASTER-DKQ-005/code_aster_stdout.log
- qualification/reviews/mitc4_transient_dynamic_2026-07-16.json

Commandes:

```
python .\scripts\run_mitc4_newmark_vnv.py --output .\results\VNV-MITC4-NEWMARK-FREE-002
python .\scripts\run_mitc4_newmark_extended_vnv.py --output .\results\VNV-MITC4-NEWMARK-DAMPED-FORCED-003
python .\scripts\run_mitc4_newmark_broadband_vnv.py --output .\results\VNV-MITC4-NEWMARK-BROADBAND-004
python .\scripts\run_code_aster_newmark_vnv.py --output .\results\VNV-MITC4-NEWMARK-CODEASTER-DKQ-005
python .\qf_solver.py qualification-readiness --scope mitc4-transient-dynamic
```