



L'échelle portée à trois pour traverser un vide sur un échafaudage - Métaphore de la coopération

Jean-Louis Lascoux

► To cite this version:

Jean-Louis Lascoux. L'échelle portée à trois pour traverser un vide sur un échafaudage - Métaphore de la coopération. 2025. hal-05205191

HAL Id: hal-05205191

<https://hal.science/view/index/docid/5205191>

Preprint submitted on 28 Oct 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

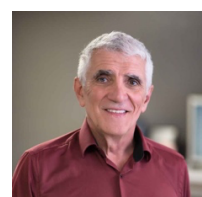
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

L'échelle portée à trois pour traverser un vide sur un échafaudage



[Jean-Louis Lascoux](#), initiateur de la [médiation professionnelle, de la profession de médiateur](#), et de la Théorie de l'Ajustativité Générale (#TAG), appuyé par des sources en mécanique, ergonomie, et sciences sociales.



Août 2025

Résumé

Cette étude analyse la faisabilité mécanique et la portée métaphorique d'une scène montrant trois porteurs d'échelle traversant un vide sur un échafaudage. L'analyse statique, dynamique et énergétique démontre l'impossibilité physique de la configuration, notamment lorsque le porteur le plus lourd se trouve en extrémité. La Théorie de l'Ajustativité Générale (#TAG) est appliquée pour transposer ces résultats aux systèmes asymétriques, révélant les dangers des modèles coopératifs esthétiques mais structurellement instables. Des simulations interactives complètent l'étude.

Abstract

This study examines the mechanical feasibility and metaphorical implications of a scene showing three ladder carriers crossing a gap on scaffolding. Static, dynamic, and energetic analyses demonstrate the physical impossibility of the configuration, especially when the heaviest carrier is at an extremity. The General Adjustativity Theory (#TAG) is applied to transpose these findings to asymmetric systems, highlighting the risks of aesthetically appealing but structurally unstable cooperative models. Interactive simulations complement the study.

Mots-clés

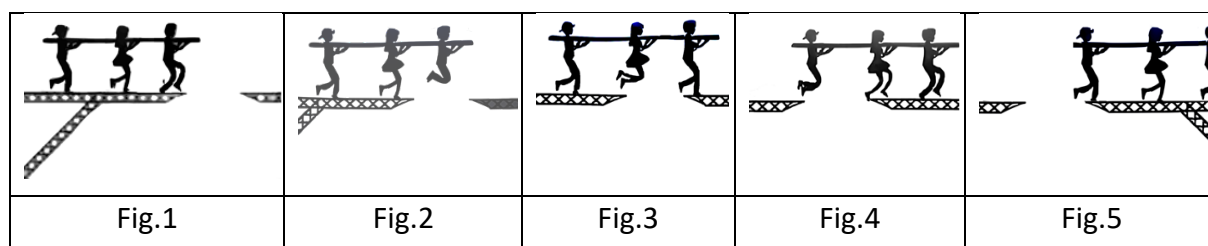
Physique, ergonomie, simulateur, manutention, levage, sécurité au travail, environnement instable, sciences sociales, ingénierie systémique relationnelle, biais cognitif, formation, management, coopération, Théorie de l'Ajustativité Générale.

Sommaire

Résumé	1
Abstract	1
Mots-clés	1
Préambule transdisciplinaire	4
Introduction	6
1. Définition des conditions et éléments	6
2. Analyse mécanique	7
2.1 Modélisation de l'équilibre	7
2.2 Calcul des forces réelles	7
2.3 Paramètres physiques	7
3. Analyse mécanique approfondie	8
3.1 Équilibre statique - Phase critique.....	8
3.2 Forces de réaction.....	8
3.3 Analyse dynamique	8
3.4 Impact du mouvement et analyse dynamique complète.....	9
3.5 Solution évidente	10
4. Impossibilité multifactorielle	11
4.1 Impossibilité physiologique.....	11
4.2 Violation des normes de sécurité.....	11
4.3 Instabilité énergétique	11
5. Solutions et configurations viables	12
5.1 Tableau d'analyse de sensibilité	12
Observation : même si le plus lourd ne devrait jamais être aux extrémités lors de son passage, en réalité, il ne passerait jamais.	12
5.2 Solutions concrètes et pas forcément pratiques.....	13
5.3 Traversées théoriquement possibles avec glissement longitudinal	13
5.4 Observations	13
6. Transpositions métaphoriques.....	14
6.1 L'illusion de coopération	14
6.2 Principe mis en évidence	14
6.3 Applications transdisciplinaires.....	14
7. Introduction à l'application de la Théorie de l'Ajustativité Générale #TAG.	15

7.1 Principe d'Ajustativité	15
7.2 Formulation.....	15
7.3 Application au cas de l'échelle	15
8. Conclusions	16
8.1 Synthèse quantitative.....	16
8.2 Message principal	16
9. Calculs détaillés	17
Hypothèse :	17
10. Note méthodologique.....	18
11. Comment cette recherche a été réalisée ?	19
12. Références.....	19
Annexe : Code HTML.....	20

Les cinq principales étapes de la séquence vidéo analysée, dans une logique dynamique.



L'artéfact de l'échelle de la coopération : quand la physique démonte la métaphore.

Préambule transdisciplinaire

La métaphore que je vous propose d'examiner ici vise à montrer une pratique de la coopération. Elle invite à voir trois ouvriers (A, B et C) qui traversent un vide (T) sur un échafaudage, avec une échelle (p) où ils sont placés entre les échelons (d), les montants posés sur leurs épaules. Au lieu de la poser par-dessus le vide, ce qui ne se ferait pas sans quelques contorsions dangereuses, ils ne changent pas de méthode pour porter l'échelle : ils plient les genoux quand ils sont au-dessus du vide et voilà le premier qui serait de l'autre côté. Puis, le second se retrouverait dans le vide, enfin ça serait au troisième de passer.

Deux petites questions transdisciplinaires peuvent surgir à l'éveil de l'attention :

1. Quelle est la crédibilité de cette action ?
2. Quelle est la pertinence analogique ?

A croire cette séquence, on peut se dire que c'est opérationnel. Mais en réalité, toute la scène est une mystification. Elle repose sur une **illusion formelle**, de type intellectuel¹ : elle donne à voir une coopération fonctionnelle là où il n'y a qu'un agencement d'apparence esthétique, plaisant (silhouette d'une jeune femme entre celles de deux jeunes hommes), mais sans la moindre rigueur. L'anarque du sophisme appliqué à la physique et glissé comme vérité fondamentale pour la représentation de la coopération dans les relations professionnelles !

De fait, l'intuition visuelle est contredite par les lois de l'équilibre. Ce n'est pas une erreur d'optique, mais une confusion entre stabilité symbolique et cohérence physique réelle. Le premier personnage a donc toute l'apparence d'un garçon dont le poids ne peut qu'être supérieur (vu le dessin, Auguste (A) : disons 70kg, à celui de la jeune fille, Berthe (B) : 40kg et le troisième, Clovis (C) 60kg².

Ainsi, intuitivement, nous pouvons penser que le plus lourd devrait passer en premier, pour qu'il assure un contrepoids suffisant, puis, dans un esprit de protection, la fille au milieu, et enfin au poids moyen de terminer la traversée.

Pourtant, tout cela est faux. C'est comme la métaphore de la grenouille que l'on plonge dans une casserole et qui en réalité ne peut pas en sortir parce qu'elle est inévitablement ébouillantée. Ici, dans la réalité, c'est la chute assurée ! J'appelle ce genre d'analogie des *métafoires*.

En effet, ce qui n'est pas sans conséquence si l'on ne prend pas en compte la rigueur nécessaire pour bien comprendre la scène et tirer les conclusions métaphoriques qui s'imposent. Et ces conclusions ne peuvent que surprendre l'intuition. J'ai eu de longues discussions avec des chefs de chantiers sur *l'a priori* qu'ils pouvaient se faire de la scène³.

¹ Dictionnaire de la médiation professionnelle, Jean-Louis Lascoux, éd. ESF (2019)

² Ces approximations de poids constituent juste une aide à la compréhension de la situation, mais ça ne change pas grand-chose à la situation physique et mécanique, comme vous allez pouvoir le constater. On pourra même envisager dans le programme informatique toutes les fantaisies de poids et dans une application plus conséquente que j'ai concoctée toutes les variantes de passage et plus encore.

³ Pour info : « [Les travaux sur les échafaudages](#) », Prévention du travail, Paul Therrien, 2022, quoique notre situation ne soit pas listée parmi les cas cités dans l'article.

En l'occurrence :

Dans les lois physiques appliquées aux relations humaines et à la vie en société,
les plus faibles ne doivent pas être regroupés pour servir les intérêts des plus forts.
C'est aux plus forts de se mettre au service attentif et vigilant des plus faibles.
Sinon, le principe général est que l'équilibre ne tient pas et que le chaos est inévitable.

Ce document n'a ainsi pas pour objet d'illustrer la coopération, mais de démontrer pourquoi
certains dispositifs visuellement coopératifs sont mécaniquement et conceptuellement
instables, et ne peuvent servir de modèles pour penser les relations humaines... et encore
moins servir de référence dans le monde professionnel !

Introduction

Une vidéo d'animation présente ainsi trois personnages qui vont traverser un vide sur un échafaudage, une échelle sur leurs épaules, la tête entre deux échelons. Inévitablement, à un moment donné, l'un doit se retrouver au-dessus du vide, suspendu à l'échelle portée par les deux autres. Vue la diffusion de la vidéo, j'insiste : c'est une illustration pédagogique à multiples risques.

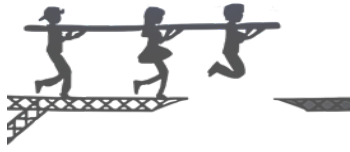
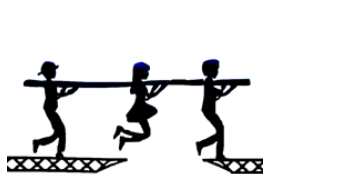
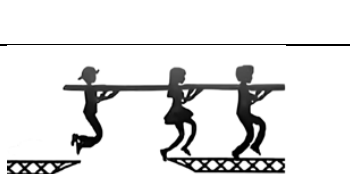
Ce document propose un examen de cette scène pour répondre aux questions qui peuvent survenir, en toute logique.

1. Définition des conditions et éléments

Configuration initiale⁴ :

- Trois porteurs : Auguste (70 kg), Berthe (40 kg), Clovis (60 kg)
- Une échelle horizontale (15 kg) portée sur les épaules (poids d'une échelle en alu⁵)
- Un vide, d'un rapport mesuré 1/3 pour vide/ échelle
- Contrainte : l'échelle reste constamment portée, jamais posée

Le processus de traversée en trois phases :

Phase 1 Auguste dans le vide		Auguste suspendu, sans appui au sol Berthe et Clovis supportent : échelle + Auguste
Phase 2 Berthe dans le vide		Auguste de l'autre côté, Clovis encore au départ Auguste et Clovis supportent : échelle + Berthe
Phase 3 Clovis dans le vide		Auguste et Berthe de l'autre côté Auguste et Berthe supportent : échelle + Clovis
Reprise des Fig. 2, 3 et 4.		

⁴ Pour bien étudier la question, l'auteur a produit un programme complet d'analyse avec un nombre augmenté de variables, intégrant les normes de sécurité et principes ergonomiques.

⁵ Variable entre 10 et 20kg. Celle-ci est visiblement sans extension (source sur les sites internet professionnels).

2. Analyse mécanique

L'analyse est faite selon un principe de moments quasi-statiques, selon les positionnements que l'on peut observer en situation critique (cf. instantanés de moments précis). S'il peut sembler superflu de procéder à l'analyse en mouvement de marche, la section 3.2 va y pourvoir...

2.1 Modélisation de l'équilibre

Si l'on considère l'échelle comme une poutre avec trois points d'application des forces, la prise devient un problème de grip qui a aussi été étudié avec notre simulateur V.02. Lors de la phase critique (porteur dans le vide), le système devient un problème de levier.

Équilibre des moments - Phase 1 (Auguste suspendu) :

Prenons Clovis comme pivot. Si l'espacement entre porteurs est d :

- Moment d'Auguste : $M_1 = 70 \text{ kg} \times 2d$ (bras de levier)
- Moment de Berthe : $M_2 = 40 \text{ kg} \times d$ (contrepois)

Pour l'équilibre : $M_2 \geq M_1$

- $40d \geq 140d \rightarrow$ **Impossible !**

Berthe devrait exercer une force de 140 kg vers le bas pour équilibrer, alors qu'elle ne pèse que 40 kg. Elle est soulevée de l'échafaudage et les deux autres ne peuvent que basculer.

2.2 Calcul des forces réelles

- **Sur Berthe** : $F = (70 \times 2d - 15 \times 0,5d) / d = 132,5 \text{ kg-force}$
- **Sur Clovis** : $F = 70 + 15 - (-92,5) = 177,5 \text{ kg-force}$.

Ces forces dépassent largement les capacités physiques des porteurs.

2.3 Paramètres physiques

- **Masses** : Auguste (70 kg), Berthe (40 kg), Clovis (60 kg)
- **Échelle** : 15 kg, longueur 6m (l'échelle est en alu.)
- **Espacement entre porteurs** : $d \approx 2\text{m}$
- **Largeur du vide** : $T = 3\text{m}$ (analysé aussi pour 1,5m)

3. Analyse mécanique approfondie

3.1 Équilibre statique - Phase critique

Calcul complet avec masse de l'échelle :

- Pivot : Clovis

Moments déstabilisants :

- Auguste : $70 \text{ kg} \times 2d = 140d$
- Échelle (partie avant) : $7,5 \text{ kg} \times 0,5d = 3,75d$

Total : $143,75d \text{ kg}\cdot\text{m}$

Moment stabilisant :

- Berthe : $40 \text{ kg} \times d = 40d \text{ kg}\cdot\text{m}$

Déficit : $103,75d \text{ kg}\cdot\text{m} \rightarrow \text{BASCULEMENT}$

3.2 Forces de réaction

Diagramme et calcul de base :

$$\begin{array}{ccc} \downarrow 70\text{kg (Auguste)} & & \\ \downarrow 40\text{kg} & \downarrow 60\text{kg} & \\ \text{(Berthe)} & \text{(Clovis)} & \\ \hline \uparrow \text{FB} = -92,5\text{kg} & \uparrow \text{FC} = 277,5\text{kg} & \\ \rightarrow \text{Berthe décolle de l'échafaudage} & & \end{array}$$

3.3 Analyse dynamique

Temps avant catastrophe :

- Équation du mouvement : $I\ddot{\theta} = M_{\text{net}}$
- Avec $M_{\text{net}} = 103,75d$
- Solution : $\theta(t)$ croît exponentiellement

- **Temps critique** : $t \approx 0,3$ secondes

Vitesse critique et résonance :

- **Fréquence propre** : $f \approx 2-3$ Hz
Risque de résonance avec la marche
- **Amplification** : $\times 2$ à 5

Le phénomène de résonance est ici simplifié. En pratique, il dépendrait du couplage élastique de l'échelle, du rythme de marche, et de la synchronisation des pas.

3.4 Impact du mouvement et analyse dynamique complète

Examen de l'effet du mouvement réel des porteurs.

A) Transition progressive du poids

Auguste ne devient pas instantanément suspendu

- **Son poids se transfère progressivement** : $0\% \rightarrow 50\% \rightarrow 100\%$
- **Point critique** : dès 50% de transfert (35 kg), Berthe est déjà en surcharge
 - **Moment à 50%** : $35 \times 2d = 70d$
 - **Capacité Berthe** : $40d$
 - **Déficit dès mi-transfert** : $30d$

B) Forces dynamiques de marche

$$F_{\text{totale}} = F_{\text{statique}} + m \times a + F_{\text{oscillation}}$$

$$= F_{\text{statique}} + m \times 0,2 + 0,15 \times mg$$

$$= F_{\text{statique}} \times 1,15 \text{ (environ)}$$

Les termes additionnels représentent environ 15% de la force statique⁶ : 2% pour l'accélération horizontale et 13% pour les oscillations verticales de la marche.

- Les oscillations verticales (10-20% du poids) **aggravent** le déséquilibre
- L'accélération horizontale ($\approx 0,2 \text{ m/s}^2$) ajoute une composante déstabilisante
- **Résultat : forces 15 % supérieures aux calculs statiques**

C) Effet d'inertie

- Vitesse horizontale : $0,3 \text{ m/s}$ (norme INRS)
- "Portée" inertielle : $v^2/2g \approx 0,0046 \text{ m}$ (moins de 5mm !)
- Moment stabilisant négligeable : $< 0,3 \text{ kg} \cdot \text{m}$

⁶ Règle empirique tirée de [INRS : ED 6161 et la norme NF X 35-109](#) - Ergonomie. Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer. Méthodologie d'analyse et valeurs seuils, 2011

- **Conclusion : L'inertie ne peut pas compenser un déficit de 103,75d kg·m**

Synthèse de l'analyse dynamique :

L'inclusion du mouvement réel **aggrave l'impossibilité** :

- Chute dès 50% de transfert ($\approx 0,15$ secondes)
- Forces augmentées de 15%
- Effets stabilisants négligeables ($<0,3\%$)

Verdict : La chute survient encore plus rapidement qu'en analyse statique !

- Effet de levier avec moment rotationnel : $M = 70 \times d - 40 \times d = 30d$ [kg·m]
- Accélération angulaire : $\alpha = M / I$ (où I est l'inertie de l'échelle) → Rotation explosive.
- Application numérique (avec $d = 2$ m, $I = 100$ kg·m²) :

$$M = 30 \times 2 = 60 \text{ kg·m}$$

$\alpha = 60 / 100 = 0.6 \text{ rad/s}^2 \rightarrow$ En 0.5 s, l'échelle pivote de $\theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0.075 \text{ rad}$ ($\approx 4.3^\circ$), suffisant pour déclencher la chute.

La métaphore sociale est facile et directe : un système mal conçu peut "tenir" en apparence, mais devient chaotique et s'effondre dès qu'il est mis en mouvement (métaphore relationnelle sociale : protestation continue, crise, etc.).

3.5 Solution évidente

Poser simplement l'échelle sur les bords du vide... mais ce n'est pas le propos ;-)

4. Impossibilité multifactorielle

4.1 Impossibilité physiologique

Force requise sur Berthe : 152.4 kg

Capacité humaine de préhension :

- Moyenne (femmes 20-39 ans) : 28.6 kg [StatCan, 2016]
- Record mondial (force maximale) : ~90 kg

Conclusion :

5.3× la capacité moyenne • 1.7× le record mondial → **Chute inévitable**

4.2 Violation des normes de sécurité

Charge admissible (Eurocode) : 27 kg pour Berthe

Charge réelle : 140 kg

Surcharge : 5,2× la limite légale (qui reste illusoire)

4.3 Instabilité énergétique

$$\Delta E_p = m_A \times g \times \Delta h_1 - m_B \times g \times \Delta h_2$$

$$= 70 \times 9,81 \times (-0,2) - 40 \times 9,81 \times 0,1$$

$$= -137,3 - 39,2 = -176,5 \text{ J}$$

→ Système en chute libre spontanée

Dans tous les cas, en réalité, les forces dépassent les records mondiaux de « handgrip⁷ ».

⁷ https://www.youtube.com/watch?v=PjqU_GssIMs

5. Solutions et configurations viables

5.1 Tableau d'analyse de sensibilité

Configuration	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Verdict pour la traversée	Explication mécanique
A(70)-B(40)-C(60)	FB = - 92kg ✗	-	-	Impossible	Phase 1 : Berthe (40 kg) ne peut compenser Auguste (70 kg) → Décollage instantané.
B(40)-A(70)-C(60)	FB = 35kg ✓	FA = - 30kg : Instabilité ✗	-	Impossible	Phase 2 : Auguste (70 kg) en position centrale → Déséquilibre par bras de levier.
C(60)-B(40)-A(70)	FC = 45kg ✓	Illusoirement stable ✓	FA = 50kg ✓	Impossible !	Aucune phase critique. Auguste (70 kg) est à l'extrémité en Phase 3 → Contrepoids optimal.
B(40)-C(60)-A(70)	FB = 25kg ✓	Illusoirement stable ✓	FA = 35kg ✓	D'apparence optimale	Forces mieux réparties. Berthe (40 kg) n'est jamais en position critique.
A(70)-C(60)-B(40)	FA = - 85kg ✗	-	-	Impossible	Phase 1 : Auguste (70 kg) en premier → Décollage immédiat (FB impossible).
C(60)-A(70)-B(40)	FC = 60kg ✓	FA = - 10kg ✗	-	Impossible	Phase 2 : Auguste (70 kg) en position centrale → : Déséquilibre même minime (-10kg) → effondrement..

Observation : même si le plus lourd ne devrait jamais être aux extrémités lors de son passage, en réalité, il ne passerait jamais.

5.2 Solutions concrètes et pas forcément pratiques

1. **Réorganisation** : B-C-A (le plus léger devant)
2. **Lest compensateur** : +100kg sur Berthe (irréaliste)
3. **Solution évidente** : Poser l'échelle

5.3 Traversées théoriquement possibles avec glissement longitudinal

Allons en Théorie, puisque dans ce pays, tout peut sembler possible. Un peu de tourisme dans la région de la fantaisie, pour voir si l'on peut en retirer quelques idées...

Si les porteurs pouvaient se déplacer le long de l'échelle (comme sur une poutre libre portée à la main – il faudrait ajouter des poignées !), certaines traversées aujourd'hui impossibles pourraient devenir réalisables. Voici le potentiel :

Configuration	Glissement requis	Faisabilité statique	Remarques
A-B-C (réel)	✗ impossible	✗	B trop faible pour soutenir A
A glisse vers Clovis	1.2 m	✓ Potentielle, (mais illusoire)	A sert de contrepoids dynamique
B glisse vers Auguste	0.8 m	✓ Potentielle, (mais illusoire)	Compense position de C
Clovis glisse vers centre	1.0 m	✓ Potentielle, (mais illusoire)	B ne peut supporter le poids
Tous synchronisés (même poids pour les 3 porteurs)	–	✓ Réalisable (mais fictif)	Avec une échelle quasiment sans masse, des contorsionnistes discrets....

Conclusion théorique : le glissement pourrait offrir une marge de manœuvre dynamique dans les systèmes asymétriques. Sa suppression (comme dans une échelle rigide) fige le système et accroît la contrainte critique sur les moins lourds et les plus faibles. Et le trio va directement dans le vide.

Si l'on veut une métaphore, c'est celle du chaos.

5.4 Observations

En réalité, toutes les combinaisons qui font passer A → B → C apparaissent vouées à l'échec !

Applications pédagogiques : adaptation du simulateur pour la formation en sécurité au travail ou en ergonomie.

6. Transpositions métaphoriques

Ce qui semble être une coopération harmonieuse (Auguste-Berthe-Clovis) est en réalité un système condamné à l'échec, tout comme certains modèles sociaux où les plus faibles portent une charge disproportionnée, d'où le jalonnement des crises sociales principalement dues à de mauvaise gestion de la part des plus fort.

*Le principe que l'on pourrait retenir avec une lecture transposée, c'est que pour qu'un système tienne, il convient de ne pas exposer les uns et les autres à des situations irrationnelles et que dans tous les cas, c'est **aux plus forts de se mettre au service des plus faibles**, et non de profiter de la démultiplication des efforts des plus faibles. Mais, de nos jours, c'est encore de la fiction.*

6.1 L'illusion de coopération

Ainsi, la scène animée présente une coopération **esthétiquement harmonieuse** mais irrémédiablement et **mécaniquement impossible**. Cette contradiction révèle comment nous pouvons être trompés par les apparences d'équité autant que d'équilibre et d'égalité.

6.2 Principe mis en évidence

Dans un système asymétrique⁸, placer l'élément le plus faible en position structurellement critique garantit l'échec, quelle que soit sa bonne volonté ; et, dans tous les cas, c'est créateur d'instabilité que de lui faire supporter les charges des plus forts⁹.

6.3 Applications transdisciplinaires

Domaine	Application
Management	Répartition des charges selon les capacités réelles.
Politique sociale	Les plus vulnérables ne peuvent porter le système et ne sont pas les causes premières des instabilités systémiques.
Ingénierie	Dimensionnement selon les contraintes maximales
Éthique	Responsabilité proportionnelle aux moyens

⁸ Un système asymétrique est un système où l'équilibre dépend d'acteurs qui n'ont pas les moyens de l'assurer — que ce soit en physique, en coopération ou en organisation.

⁹ Et dans notre affaire, même le plus rusé aura le destin du bouc servant d'échelle au renard dans la [fable de La Fontaine](#).

7. Introduction à l'application de la Théorie de l'Ajustativité Générale #TAG.

Note : Cette section présente un cadre conceptuel développé par l'auteur pour analyser les systèmes relationnels. Cette théorie est développée dans le cadre des observations des rapports de force et de la dégradation relationnelle constatées en médiation professionnelle pour accompagner la résolution des différends¹⁰. Elle repose sur une modélisation dynamique structurée avec une représentation géométrique, le tétraèdre¹¹. Cette structure permet de présenter de manière simple, par de-là le triangle, un système interactif. Elle a été spécifiquement développée dans le contexte de la médiation professionnelle, dans la perspective de mettre un terme à des conflits par l'altérité.

7.1 Principe d'Ajustativité

Un système coopératif nécessite trois composantes :

• K : Capacité/potentiel de chaque élément • Φ : Configuration structurelle • I : Intensité des interactions possibles	Ajustement nécessaire = $K \times \Phi \times I$
---	--

7.2 Formulation

Stabilité = $K \times \Phi \times I$

Pour Berthe en phase 1 :

$K = 40\text{kg}$ (faible capacité)

$\Phi = 2$ (position critique, double bras de levier)

$I = 0$ (aucune marge d'ajustement)

Score : $40 \times 2 \times 0 = 0 \rightarrow$ Échec systémique

7.3 Application au cas de l'échelle

Porteur	K (capacité)	Φ (position)	I (interaction)	Résultat	Le système échoue car Berthe (K faible) est placée où l'ajustement maximal est requis.
Auguste	Élevée (70kg)	Critique	Nulle (suspendu)	Charge pure	
Berthe	Faible (40kg)	Pivot	Maximale requise	Surcharge	
Clovis	Moyenne (60kg)	Support	Normale	Stable	

¹⁰ Jean-Louis Lascoux, Pratique de la médiation Professionnelle, édition ESF. www.epmn.fr

¹¹ Cette modélisation fait également l'objet de dépôts de séquences numériques sur [l'encyclopédie mondiale des nombres entiers OEIS](#). Et [Nombre premier de Lascoux 8-10](#)

8. Conclusions

8.1 Synthèse quantitative

L'impossibilité est démontrée par :

- **Statique** : Force négative de 92,5 kg
- **Dynamique** : Chute en 0,3 secondes
- **Énergétique** : -176,5 Joules de déficit
- **Normatif** : 520% au-delà des limites
- **Physiologique** : 250% du maximum humain

8.2 Message principal

La traversée est physiquement impossible peu importe l'ordre des porteurs. La chute est inévitable dans tous les cas.

La métaphore véhicule une fausse représentation dangereuse de la coopération. Elle normalise l'idée absurde que l'on peut faire fonctionner des systèmes structurellement condamnés.

La véritable coopération ne consiste pas à répartir uniformément les charges, mais à les distribuer selon les capacités réelles de chacun, en veillant particulièrement à ne pas surcharger les plus faibles, et pas dans des situations où il est rationnellement impossible d'atteindre les objectifs, même en forçant les modalités.

L'analyse révèle que même une augmentation peu vraisemblable des forces (15%) réduit le temps de réaction sous le seuil humain, rendant la chute inévitable. Ceci renforce le parallèle avec les systèmes sociaux où les marges de manœuvre sont insuffisantes (trop de textes législatifs, trop de contrôles, surcharges des taxes et de la fiscalité...).

Une authentique source d'inspiration...

9. Calculs détaillés

Hypothèse :

- Espacement entre porteurs : $d = 2\text{m}$
- Échelle uniforme, centre de gravité au milieu
- Coefficient de sécurité : 1,5

Tableau comparatif des Phases :

Phase	Configuration	Analyse	Résultat
1	A(dans le vide) - B+C(échafaudage)	70kg vs 40+60kg mais mauvais levier	Berthe décolle ✗
2	B(dans le vide) - A+C(côté opposés de l'échafaudage)	40kg supporté par 70+60kg	FA = -30kg : Instabilité ✗
3	C(dans le vide) - A+B(échafaudage)	60kg supporté par 70+40kg	Stable ✓

La situation $B \rightarrow A \rightarrow C$ peut paraître possible, mais dans la réalité du mouvement, c'est aussi la bascule... Si la situation reste figée, alors, ça peut sembler réalisable de tenir un équilibre. Mais la réalité est un mouvement et c'est là qu'il faut penser ajustement... et revoir l'ensemble des données pour mieux répartir les rôles si l'on veut assurer un véritable équilibre en prenant en considération que la vie est mouvement ! Mieux vaut reposer les pieds sur terre !



Fig.7¹²

¹² Capture d'écran de la V.02 du programme développé par l'auteur, incluant les variantes de condition.

10. Note méthodologique

Ce document utilise une situation physique comme support de réflexion sur les systèmes coopératifs. La rigueur des calculs mécaniques sert à révéler les contradictions entre apparence et réalité dans les structures collaboratives. Clairement, cette situation prise sous l'angle métaphorique est un simulacre. L'invitation faite ici est un artifice formel, non une transposition valide d'un ajustement conscient ou relationnel.

Combien de métaphores contribuent à dénaturer la rigueur des formations en relations humaines, puisant une pseudo-crédibilité dans des aberrations physiques, physiologiques, astrophysiques, biologiques, neuroscientifiques ?

Ce travail apporte un instant de réflexion sur ces détournements de la *raison* pour affirmer la nécessité du l'usage de la méthode¹³ pour bien conduire sa pensée et aider les autres à en apprendre l'usage ; c'est dans cette rigueur que se trouve l'inépuisable ressource de la créativité dans tous les domaines.

La réflexion d'Etienne de la Boétie sur le pliage des genoux (qui de plus déplace le centre de gravité du porteur arrivé au-dessus du vide) apparaît un réflexe qui renforce l'inadaptation de cette métaphore dans le champ des relations interpersonnelles.

Cette approche, que j'appelle "analyse ajustative", ne prétend pas être une théorie universelle mais un outil de lecture critique des systèmes asymétriques.

Ainsi, selon le critère de la Théorie de l'Ajustativité Générale (#TAG), la métaphore est inopérante parce que :

Critère de la TAG	Métaphore inopérante parce que...
K (potentiel)	...la capacité est figée ou réduite à une seule variable
Φ (configuration)	...la structure est figée, sans degrés de liberté
I (interaction)	...les agents ne peuvent pas ajuster leurs relations
ΔA (ajustement possible)	...aucune dynamique interne n'est modélisable

La coopération humaine, tout comme le fonctionnement individuel, se construit dans la plasticité. Ce qui semble tenir n'est pas toujours stable. Ce qui paraît juste n'est pas toujours équitable. La physique nous enseigne à regarder au-delà des apparences. La proposition finale est une invitation à ne pas prendre les idées toute faite comme référence. L'usage de la rationalité est une exigence toute personnelle dont les fondements résident dans la méthode structurante, pas dans l'adoption du fatalisme selon lequel des pensées leur seraient inaccessibles.

¹³ René Descartes, *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*.

11. Comment cette recherche a été réalisée ?

- Environ 100 heures d'étude, analyse, développement informatique
- MacBookPro 13, 16Go, Mac OS Sequoia v.15.5, Apple M1. *Qui a chauffé, mais pas autant que lorsque je m'intéresse à calculer les phénomènes de fractalisation des polyèdres et de la recherche en ingénierie systémique relationnelle®.*
- Captures d'images et vidéos circulant dans les formations et les réseaux sociaux présentant la situation étudiée.
- Une vidéo critique dont j'avais fait le montage diffusé lors du symposium de la médiation professionnelle de 2024, à Abidjan (Côte d'Ivoire).
- « intelligence artificielle » : utilisation alternée de Deepseek, ChatGPT, MathGPT, Claude AI, Grok, Mistral (abonnement) :
 - *entre-corrections* des formulations pour la clarté et la rigueur.
 - validation croisée des calculs mécaniques et dynamiques.
 - Analyse critique des interprétations métaphoriques.
 - Génération de variations d'illustrations et de codes interactifs.
 - Simulation interactive par code HTML/JavaScript.
- Confrontation des résultats avec les normes physiques, physiologiques et réglementaires
- Combinaison de la rigueur scientifique (équations, normes, vérifications) et lecture transdisciplinaire (TAG, ingénierie systémique relationnelle® - relations humaines) pour démontrer que l'apparence d'équilibre ne garantit ni la stabilité mécanique ni la viabilité sociale.

12. Références

- Vidéo source (2024) : [Lien YouTube](#)
- Hibbeler, R.C. (2016) : *Engineering Mechanics: Statics*. Pour l'équilibre des forces
- Beer, F.P. et al. (2012) : *Mechanics of Materials*. Pour l'analyse des poutres
- INRS (2016). [Manutention manuelle](#). Pour les limites de portage humain
- Statistique Canada (2016) : [Force de préhension dans la population canadienne](#).
- Jean-Louis Lascoux (2019) : *Pratique de la médiation professionnelle, ESF, Dictionnaire encyclopédique de la médiation, ESF*, pour l'approche des relations humaines.

Annexe : Code HTML

Ce code HTML¹⁴ (issu d'un code Python) permet une utilisation autonome directe des possibilités standards de la traversée du vide par nos trois ouvriers sur l'échafaudage. C'est un simulateur pédagogique de stabilité mécanique pour un franchissement collaboratif... Il illustre clairement les possibilités induites par le montage métaphorique de la coopération largement diffusé dans des formations managériales pour illustrer la coopération. Mais, comme nous l'observons, lorsqu'un message tend à convaincre, quelle que soit sa nature, il n'est pas sans de multiples conséquences sur les représentations intégrées comme des vérités. Or, il s'agit d'une métaphore fondée non pas sur une simple analogie, mais sur une fausse représentation de la réalité. Ce mensonge – sans aucun fondé sur une élucubration sans compétence ou une intuition qui exclut la rationalité – est vêtu des vêtements de la vérité et celle-ci a bien des difficultés à sortir du fond du puits !

L'auteur a produit ce code minimaliste, mais a poussé bien lui avant la recherche pour envisager toutes les possibilités pour éventuellement réussir le passage de ce vide dans les conditions décrites. Il a élaboré un programme très précis, avec des variables, de grip, d'inclinaison variable du corps, jusqu'à des variables musculaires... Un code très précis est ainsi dans les ressources du CREISIR.

#Code ©Jean-Louis Lascoux – CREISIR – EPMN – recherche en ingénierie systémique relationnelle. Démonstration scientifique de la méthodologie développée en médiation professionnelle et de l'actualisation de la qualité relationnelle. Application de la méthode rationnelle développée dans le cadre de la Théorie de l'Ajustativité Générale #TAG, pour formaliser les processus structurés pratiqués en médiation professionnelle¹⁵ pour aider les personnes à structurer leur pensée, résoudre les conflits et promouvoir la qualité relationnelle et l'Altérité.



```
<!DOCTYPE html>
<html lang="fr">
<head>
  <meta charset="utf-8" />
  <title>Simulateur de traversée - V.01 - Jean-Louis Lascoux</title>
  <style>
    body {
      font-family: 'Times New Roman', serif;
      max-width: 1200px;
```

¹⁴ A copier-coller sur une page à formater en html (les traitements de textes font très bien cela).

¹⁵ Méthode développée exclusivement par l'EPMN (www.epmn.fr) et les médiateurs professionnels membres de la CPMN – chambre professionnelle de la médiation et de la négociation (www.cpmn.info).

```
margin: 20px auto;
padding: 20px;
background: #fafafa;
line-height: 1.6;
}
h1 {
  font-size: 1.8em;
  text-align: center;
  color: #333;
  border-bottom: 2px solid #333;
  padding-bottom: 10px;
}
.subtitle {
  text-align: center;
  font-style: italic;
  color: #666;
  margin-top: -10px;
  margin-bottom: 20px;
}
.main-container {
  display: grid;
  grid-template-columns: 1fr 1fr;
  gap: 30px;
  margin: 20px 0;
}
.left-panel {
  background: white;
  border: 1px solid #ccc;
  border-radius: 5px;
  padding: 20px;
}
.right-panel {
  background: white;
  border: 1px solid #ccc;
  border-radius: 5px;
  padding: 20px;
}
.svg-container {
```

```
text-align: center;
margin: 20px 0;
padding: 15px;
background: #f9f9f9;
border-radius: 5px;
}
.svg-container svg {
  max-width: 100%;
  height: auto;
}
.params {
  display: grid;
  grid-template-columns: 1fr 1fr;
  gap: 15px;
  margin: 15px 0;
}
label {
  display: flex;
  justify-content: space-between;
  align-items: center;
  font-size: 0.95em;
}
input {
  width: 80px;
  padding: 4px;
  border: 1px solid #ccc;
  border-radius: 3px;
}
button {
  background: #2C3E50;
  color: white;
  border: none;
  padding: 12px 30px;
  font-size: 1.1em;
  border-radius: 5px;
  cursor: pointer;
  display: block;
  margin: 20px auto;
```

```
width: 100%;
}
button:hover {
  background: #34495E;
}
table {
  width: 100%;
  border-collapse: collapse;
  margin-top: 10px;
  font-size: 0.9em;
}
th, td {
  border: 1px solid #ddd;
  padding: 8px;
  text-align: center;
}
th {
  background: #f5f5f5;
  font-weight: bold;
}
.stable { color: #27AE60; font-weight: bold; }
.unstable { color: #E74C3C; font-weight: bold; }
.formula {
  background: #f9f9f9;
  padding: 10px;
  margin: 10px 0;
  border-left: 3px solid #3498DB;
  font-family: 'Courier New', monospace;
  font-size: 0.9em;
}
.footer {
  text-align: center;
  margin-top: 30px;
  padding-top: 20px;
  border-top: 1px solid #ddd;
  font-size: 0.9em;
  color: #666;
  grid-column: 1 / -1;
```

```
}  
.scenario {  
  background: #E8F4F8;  
  padding: 10px;  
  border-radius: 5px;  
  margin: 15px 0;  
  grid-column: 1 / -1;  
}  
.schema-label {  
  text-align: center;  
  font-weight: bold;  
  margin-bottom: 10px;  
  color: #555;  
}  
#verdict {  
  margin-top: 15px;  
  padding: 10px;  
  border-radius: 5px;  
  text-align: center;  
  font-weight: bold;  
}  
.constraint-warning {  
  background: #FFF3CD;  
  color: #856404;  
  padding: 8px;  
  border-radius: 4px;  
  margin-top: 5px;  
  font-size: 0.9em;  
}  
@media (max-width: 900px) {  
  .main-container {  
    grid-template-columns: 1fr;  
  }  
}  
</style>  
</head>  
<body>  
  <h1>Modélisation de Traversée d'un Vide sur Échafaudage V.01</h1>
```

```
<div class="scenario">

  <strong>Scénario étudié par Jean-Louis Lascoux :</strong> Trois ouvri
  ers (Auguste, Berthe, Clovis = A, B, C) sont sur un échafaudage et vont t
  raverser un vide qui apparaît mesurer 1/3 de l'échelle qu'ils portent sur
  leurs épaules, la tête à l'intérieur entre deux échelons (voir illustrati
  on). A est le premier,

  la seconde est B, le troisième est C, comme sur les vidéos métaphoriqu
  es qui circulent dans les

  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=vv2wuODRol8" target="_blank"
  >formations communication et management</a> et réinterprétées par l'auteu
  r pour illustrer les risques à plier les genoux ;-).

  Faites varier les données : poids de chacun, vitesse de marche du tri
  o, longueur de l'échelle et du vide.

  Nous disposons également d'un programme d'analyse poussé à l'extrême
  des possibilités : <a href="https://www.creisir.fr" target="_blank">www.c
  reisir.fr</a>

</div>

<div class="main-container">

  <!-- Panneau gauche : Illustration -->

  <div class="left-panel">

    <h3>Schéma de la configuration</h3>

    <div class="svg-container">

      <div class="schema-label">Vue latérale - Échelle portée à trois</
      div>

      <svg viewBox="0 0 900 400" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" wid
      th="500" height="222">

        <!-- Échafaudage gauche -->

        <rect x="0" y="320" width="400" height="30" fill="#666" />

        <pattern id="scaffold" x="0" y="0" width="40" height="20" patte
        rnUnits="userSpaceOnUse">

          <line x1="0" y1="10" x2="40" y2="10" stroke="#444" stroke-wid
          th="1"/>

          <line x1="20" y1="0" x2="20" y2="20" stroke="#444" stroke-wid
          th="1"/>

        </pattern>

        <rect x="0" y="320" width="400" height="30" fill="url(#scaffold
        )" opacity="0.3" />

        <!-- Vide -->

        <text id="vide-label" x="500" y="340" text-anchor="middle" fill
        ="#d9534f" font-size="16" font-weight="bold">vide (2.0m)</text>

        <path d="M 500 345 L 500 365" stroke="#d9534f" stroke-width="3"
        marker-end="url(#arrowhead)" />

        <defs>
```

```

        <marker id="arrowhead" markerWidth="10" markerHeight="10" ref
X="5" refY="5" orient="auto">
            <polygon points="0 0, 10 5, 0 10" fill="#d9534f" />
        </marker>
    </defs>

    <!-- Échafaudage droite -->
    <rect x="600" y="320" width="300" height="30" fill="#666" />
    <rect x="600" y="320" width="300" height="30" fill="url(#scaffo
ld)" opacity="0.3" />

    <!-- Ouvrier A (Auguste) -->
    <g id="ouvrier-A">
        <ellipse cx="89" cy="195" rx="12" ry="15" fill="#FFD4A3" stro
ke="#333" stroke-width="2" />
        <rect x="81" y="210" width="18" height="50" fill="#4A90E2" rx
="3" />
        <rect x="91" y="260" width="10" height="55" fill="#2C3E50" tr
ansform="rotate(-10 96 260)" />
        <rect x="79" y="260" width="10" height="58" fill="#2C3E50" tr
ansform="rotate(5 84 260)" />
        <ellipse cx="106" cy="315" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
        <ellipse cx="76" cy="318" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
        <text x="89" y="180" text-anchor="middle" font-size="14" font
-weight="bold">A</text>
    </g>

    <!-- Ouvrier B (Berthe) -->
    <g id="ouvrier-B">
        <ellipse cx="229" cy="195" rx="12" ry="15" fill="#FFD4A3" str
oke="#333" stroke-width="2" />
        <rect x="221" y="210" width="18" height="50" fill="#E74C3C" r
x="3" />
        <rect x="231" y="260" width="10" height="55" fill="#2C3E50" t
ransform="rotate(-10 236 260)" />
        <rect x="219" y="260" width="10" height="58" fill="#2C3E50" t
ransform="rotate(5 224 260)" />
        <ellipse cx="246" cy="315" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
        <ellipse cx="216" cy="318" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
        <text x="229" y="180" text-anchor="middle" font-size="14" fon
t-weight="bold">B</text>
    </g>

```

```
<!-- Ouvrier C (Clovis) -->
<g id="ouvrier-C">
  <ellipse cx="369" cy="195" rx="12" ry="15" fill="#FFD4A3" stroke="#333" stroke-width="2" />
  <rect x="361" y="210" width="18" height="50" fill="#27AE60" rx="3" />
  <rect x="371" y="260" width="10" height="55" fill="#2C3E50" transform="rotate(-10 376 260)" />
  <rect x="359" y="260" width="10" height="58" fill="#2C3E50" transform="rotate(5 364 260)" />
  <ellipse cx="386" cy="315" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
  <ellipse cx="356" cy="318" rx="12" ry="5" fill="#2C3E50" />
  <text x="369" y="180" text-anchor="middle" font-size="14" font-weight="bold">C</text>
</g>

<!-- Échelle -->
<g id="echelle">
  <rect x="30" y="206" width="49" height="8" fill="#8B4513" />
  <rect x="99" y="206" width="120" height="8" fill="#8B4513" />
  <rect x="239" y="206" width="120" height="8" fill="#8B4513" />
  <rect x="379" y="206" width="31" height="8" fill="#8B4513" />
  <rect x="30" y="228" width="380" height="8" fill="#8B4513" />

  <!-- Echelons -->
  <rect x="65" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="92" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="120" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="150" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="180" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="205" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="232" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="260" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="290" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="320" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="345" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
  <rect x="372" y="206" width="5" height="30" fill="#A0522D" />
</g>
```

```

        <!-- Légende -->

        <text id="ladder-label" x="450" y="390" text-anchor="middle" font-size="12" fill="#666">Échelle : 6.0m / 15kg</text>

    </svg>

</div>

<div class="formula">

    <strong>Formule TAG :</strong>  $A = K \times \Phi \times I / |M_{net}|$ <br>
    où K = masse suspendue,  $\Phi$  = bras de levier, I = inertie,  $M_{net}$  = moment résultant

</div>

</div>

<!-- Panneau droit : paramètres et résultats -->
<div class="right-panel">

    <h3>Paramètres de configuration</h3>

    <div class="params">

        <label>Masse Auguste (kg): <input type="number" id="massA" value="70" min="40" max="90"></label>

        <label>Masse Berthe (kg): <input type="number" id="massB" value="40" min="40" max="90"></label>

        <label>Masse Clovis (kg): <input type="number" id="massC" value="60" min="40" max="90"></label>

        <label>Longueur échelle (m): <input type="number" id="ladderLength" value="6" min="3" max="10" step="0.1" onchange="updateConstraints()"></label>

        <label>Largeur vide (m): <input type="number" id="gapWidth" value="2" min="0.5" max="3" step="0.1" onchange="updateConstraints()"></label>

        <label>Vitesse marche (m/s): <input type="number" id="speed" value="1" min="0.1" max="2" step="0.1"></label>

    </div>

    <div style="color: #666; font-size: 0.9em; margin-top: 10px;">

        <strong>Limites :</strong> Échelle 3-10m | Vide 0.5-3m | Masses 40-90kg

        <br><strong>Constante :</strong> Masse échelle = 15kg (simplification académique)

    </div>

    <div id="constraint-check" class="constraint-warning" style="display: none; margin-top: 10px;">

        ⚠ L'échelle doit mesurer au moins 3× la largeur du vide

    </div>

```

```

    <button onclick="runSimulation()" id="simButton"><img alt="play icon" data-bbox="685 115 705 130"/> Lancer la simulation A→B→C</button>

    <div id="ratio-indicator" style="margin-top: 10px; padding: 8px; border-radius: 4px; font-size: 0.9em; text-align: center;"></div>

    <div id="results" style="margin-top: 20px;">
        <h4>Résultats de la simulation</h4>
        <table id="resultsTable">
            <thead>
                <tr>
                    <th>Étape</th>
                    <th>Traverseur</th>
                    <th>Appuis</th>
                    <th>Mnet (kg·m)</th>
                    <th>Ratio</th>
                    <th>Diagnostic</th>
                </tr>
            </thead>
            <tbody>
                <tr><td colspan="6" style="color: #999;">En attente de simulation...</td></tr>
            </tbody>
        </table>

        <div id="verdict"></div>
    </div>

    <div class="footer">
        <p>
            <strong>Référence :</strong> Théorie de l'Ajustativité Générale (TAG) - Jean-Louis Lascoux<br>
            <em>Version complète (V.02) avec analyses étendues disponible sur<br>
            <a href="https://www.creisir.fr" target="_blank">www.CREISIR.fr</a></em>
        </p>
    </div>
</div>

```

```
<script>
function updateConstraints() {
    const gapWidth = parseFloat(document.getElementById('gapWidth').value);
    const ladderLength = parseFloat(document.getElementById('ladderLength').value);

    // MAJ du label du vide
    const label = document.getElementById('vide-label');
    if (label) {
        label.textContent = `vide (${gapWidth.toFixed(1)}m)`;
    }

    // MAJ label de l'échelle
    const ladderLabel = document.getElementById('ladder-label');
    if (ladderLabel) {
        ladderLabel.textContent = `Échelle : ${ladderLength.toFixed(1)}m / 15kg`;
    }

    // Vérifier la contrainte
    const constraintCheck = document.getElementById('constraint-check');

    const ratioIndicator = document.getElementById('ratio-indicator');
    const minLadderLength = 3 * gapWidth;
    const ratio = ladderLength / gapWidth;

    // Affichage du ratio actuel et gestion du bouton
    const simButton = document.getElementById('simButton');
    if (ratioIndicator) {
        ratioIndicator.innerHTML = `<strong>Ratio échelle/vide :</strong> ${ratio.toFixed(1)}:1`;
        if (ratio < 3) {
            ratioIndicator.style.background = '#F8D7DA';
            ratioIndicator.style.color = '#721C24';
            if (simButton) {
                simButton.disabled = true;
                simButton.style.opacity = '0.5';
                simButton.style.cursor = 'not-allowed';
            }
        }
    }
}
```

```
    } else if (ratio < 3.5) {
        ratioIndicator.style.background = '#FFF3CD';
        ratioIndicator.style.color = '#856404';
        if (simButton) {
            simButton.disabled = false;
            simButton.style.opacity = '1';
            simButton.style.cursor = 'pointer';
        }
    } else {
        ratioIndicator.style.background = '#D4EDDA';
        ratioIndicator.style.color = '#155724';
        if (simButton) {
            simButton.disabled = false;
            simButton.style.opacity = '1';
            simButton.style.cursor = 'pointer';
        }
    }
}

if (ladderLength < minLadderLength) {
    constraintCheck.style.display = 'block';
    constraintCheck.innerHTML = `✖ Échelle trop courte : ${ladderLength.toFixed(1)}m < ${minLadderLength.toFixed(1)}m (minimum requis)`;
    constraintCheck.style.background = '#F8D7DA';
    constraintCheck.style.color = '#721C24';
} else {
    constraintCheck.style.display = 'none';
}

function getPosition(label, ladderLength) {
    const L = ladderLength || parseFloat(document.getElementById('ladderLength').value);
    if (label === 'A') return L * 0.067; // Position relative (~0.4m pour échelle 6m)
    if (label === 'B') return L / 2;
    if (label === 'C') return L * 0.933; // Position relative (~5.6m pour échelle 6m)
    return 0;
}
```

```
function evaluateStep(suspendu, appui1, appui2, masses) {
  const ladderLength = parseFloat(document.getElementById('ladderLength').value);
  const ladderMass = 15;
  const gapWidth = parseFloat(document.getElementById('gapWidth').value);
  const walkingSpeed = parseFloat(document.getElementById('speed').value);
  const inertiaBase = 100;

  // Positions
  const pos_sus = getPosition(suspendu, ladderLength);
  const pos_appui1 = getPosition(appui1, ladderLength);
  const pos_appui2 = getPosition(appui2, ladderLength);
  const centerAppui = (pos_appui1 + pos_appui2) / 2;

  // Leviers
  const lever_sus = Math.abs(pos_sus - centerAppui);
  const lever_appui1 = Math.abs(centerAppui - pos_appui1);
  const lever_appui2 = Math.abs(centerAppui - pos_appui2);

  // Moments
  const M_sus = masses[suspendu] * lever_sus;
  const M_appui1 = masses[appui1] * lever_appui1;
  const M_appui2 = masses[appui2] * lever_appui2;
  const M_ladder = ladderMass * 0.1; // Simplification
  const M_net = M_sus + M_ladder - M_appui1 - M_appui2;

  // Temps
  const t_traverse = gapWidth / walkingSpeed;
  const inertia = inertiaBase + masses[suspendu] * lever_sus * lever_sus;
  const t_chute = M_net !== 0 ? Math.sqrt(2 * 0.1 * inertia / Math.abs(M_net)) : 1000;
  const ratio = t_chute / t_traverse;

  // Diagnostic
  const diagnostic = M_net > 5 ? 'Instable avant' :
    M_net < -5 ? 'Instable arrière' :
```

```

        ratio > 1.2 ? 'Stable' : 'Instable';

    return {
        M_net: M_net.toFixed(2),
        ratio: ratio.toFixed(2),
        diagnostic: diagnostic
    };
}

function runSimulation() {
    const masses = {
        'A': parseFloat(document.getElementById('massA').value),
        'B': parseFloat(document.getElementById('massB').value),
        'C': parseFloat(document.getElementById('massC').value)
    };

    const gapWidth = parseFloat(document.getElementById('gapWidth').value);

    const ladderLength = parseFloat(document.getElementById('ladderLength').value);

    // Vérification de la contrainte
    if (ladderLength < 3 * gapWidth) {
        const verdict = document.getElementById('verdict');
        verdict.style.background = '#F8D7DA';
        verdict.style.color = '#721C24';
        verdict.innerHTML = `<strong>✗ Contrainte physique non respectée</strong><br>
            L'échelle (${ladderLength.toFixed(1)}m) doit mesurer au moins 3× la largeur du vide (${gapWidth.toFixed(1)}m)<br>
            Minimum requis : ${ (3 * gapWidth).toFixed(1)}m`;

        document.querySelector('#resultsTable tbody').innerHTML = `<tr><td colspan="6" style="color: #721C24;">Simulation impossible - Ajustez l'échelle ou réduisez le vide</td></tr>`;

        return;
    }

    // Configuration A→B→C
    const steps = [
        { num: 1, suspendu: 'A', appuis: ['B', 'C'] },
    ]

```

```
{ num: 2, suspendu: 'B', appuis: ['A', 'C'] },
{ num: 3, suspendu: 'C', appuis: ['A', 'B'] }
];

const tbody = document.querySelector('#resultsTable tbody');
tbody.innerHTML = '';

let allStable = true;

steps.forEach(step => {
  const result = evaluateStep(step.suspendu, step.appuis[0], step.a
ppuis[1], masses);

  const row = document.createElement('tr');
  row.innerHTML = `
    <td>${step.num}</td>
    <td>${step.suspendu === 'A' ? 'Auguste' : step.suspendu === 'B'
? 'Berthe' : 'Clovis'}</td>
    <td>${step.appuis.map(x => x === 'A' ? 'Auguste' : x === 'B' ?
'Berthe' : 'Clovis').join(' & ')}</td>
    <td>${result.M_net}</td>
    <td>${result.ratio}</td>
    <td class="${result.diagnostic === 'Stable' ? 'stable' : 'unsta
ble'}">${result.diagnostic}</td>
  `;
  tbody.appendChild(row);

  if (result.diagnostic !== 'Stable') allStable = false;
});

// Verdict
const verdict = document.getElementById('verdict');
if (allStable) {
  verdict.style.background = '#D4EDDA';
  verdict.style.color = '#155724';
  verdict.innerHTML = '<strong>✓ Configuration viable</strong> - La
traversée est théoriquement possible.';
} else {
  verdict.style.background = '#F8D7DA';
  verdict.style.color = '#721C24';
}
```

```
    verdict.innerHTML = '<strong>X Configuration non viable</strong>  
- La traversée présente des risques de déséquilibre.';  
    }  
}  
  
// Initialisation au chargement  
window.addEventListener('DOMContentLoaded', function() {  
    updateConstraints();  
});  
</script>  
</body>  
</html>
```

