

**Brevet de Technicien Supérieur**  
**en**  
**Mise en Forme des Matériaux par Forgeage**

---

Session 2015

---

**Epreuve E 4**  
**Etude des Systèmes d'outillage**

-----  
**Sous épreuve U 4.1**  
**Comportement mécanique d'une machine et de son outillage**

---

Temps alloué : 2H00

Coefficient : 1

---

DOCUMENTS REMIS AU CANDIDAT :

- Dossier technique (pages 2 à 6)
- Travail demandé (pages 7 et 9)
- Document Réponse (pages 10 à 12)

DOCUMENTS DISPONIBLES :

- Copies de rédaction
- Feuilles de brouillon

DOCUMENTS AUTORISES :

- Tous documents papiers personnels

RECOMMANDATION :

- Certaines parties du sujet peuvent être traitées individuellement.

# **Etude du comportement dynamique du marteau pilon Montbard LG1000**

## **Dossier technique**

### Mise en situation

La simulation numérique du forgeage aide le forgeron à prévoir les conditions de réalisation des pièces estampées. Des modèles numériques de plus en plus fins sont intégrés dans les outils de simulation afin de prédire avec un maximum de confiance les énergies transmises à la pièce ainsi que les élévations de température qui en découlent. Sur certains alliages forgés c'est la qualité métallurgique qui en dépend.

La mise en place de nouveaux modèles nécessite une vérification de la justesse des calculs et de l'intérêt qu'apportent ceux-ci.

Ici, c'est la modélisation du comportement dynamique des marteaux pilons qui est étudiée. Il faut donc ce que l'on appelle des « Cas test » très bien mesurés pour vérifier le nouveau modèle.

Lorsque cette vérification est faite, il faut caractériser le comportement de chacune des machines, c'est-à-dire déterminer les valeurs des paramètres que l'on utilisera par la suite.

Cette prise en compte de plus en plus fine des paramètres est l'occasion pour le forgeron d'aller plus loin dans la connaissance du comportement mécanique de ses machines.

### Objectifs de l'étude

Le premier objectif de l'étude est de déterminer le rendement des chocs au fil des coups. Les essais sont effectués sur le marteau pilon Montbard LG 1000.

Pour cela on mesure, entre autres, les vitesses d'impact et de rebond pendant la fabrication du « Coin LMC ». D'autres grandeurs sont relevées telles l'épaisseur des pièces, l'épanouissement de la matière, la température de surface, mais ne sont pas rapportées ici.

Elles permettront d'établir ainsi une base de données mesurées pour vérifier ou étalonner la modélisation du comportement du marteau pilon dans un logiciel de simulation du forgeage.

Le deuxième objectif est de déterminer la valeur de paramètres caractéristiques de modélisation du pilon.

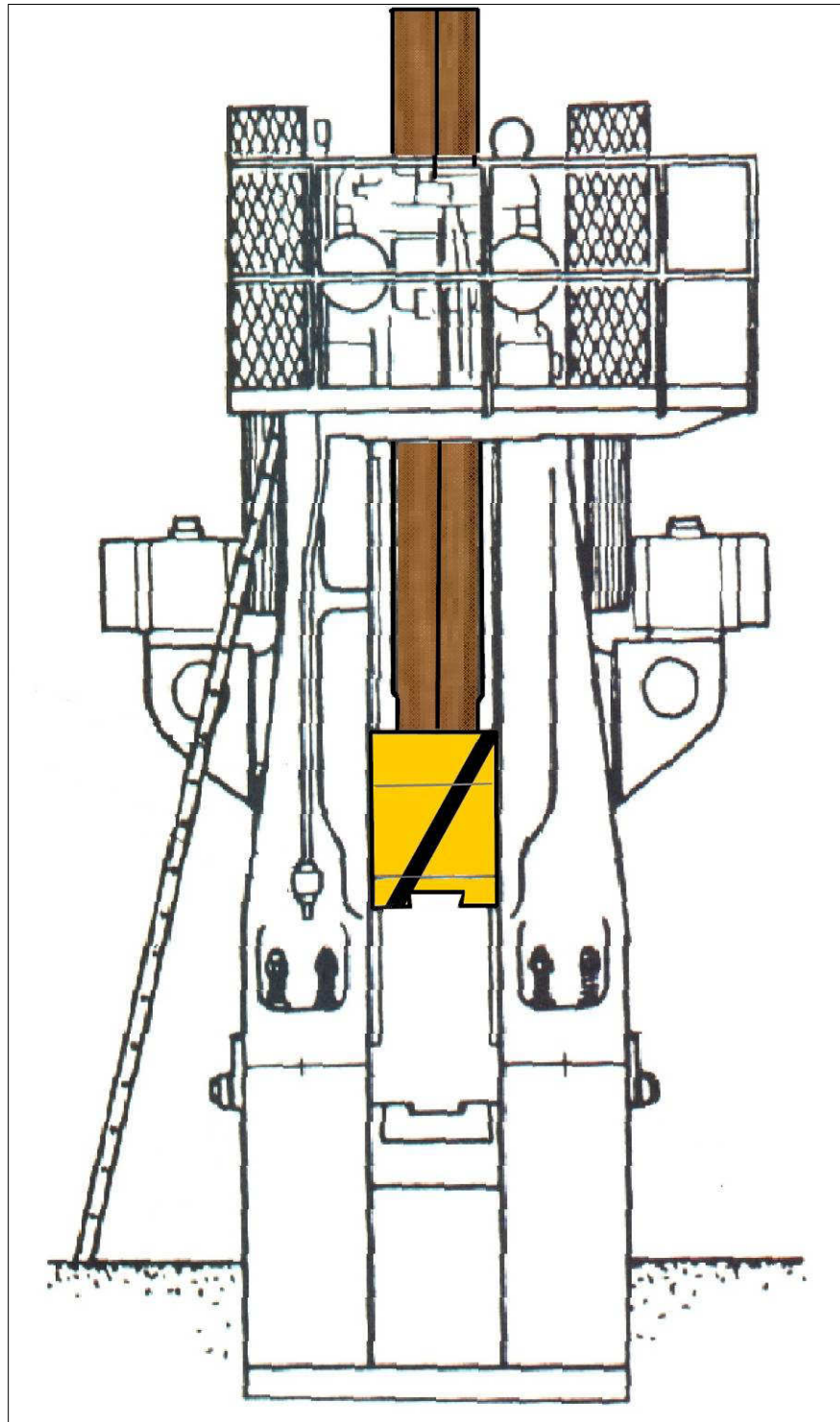
Le troisième objectif est de comprendre et mesurer le comportement mécanique de ce pilon.

## Présentation de la machine

Le marteau pilon Montbard LG1000 (Figure 1) est un marteau pilon à chute libre.

Deux rouleaux sont entraînés chacun par un moteur électrique. Ces deux rouleaux entraînent par friction les planches liées à la masse pour la faire remonter. Les deux planches sont montées côte à côte.

Masse (Masse tombante + planches + outil supérieur) =  $M_T = 1200 \text{ kg}$ .



*Figure 1 - Marteau pilon Montbard LG1000*

## Principe de fonctionnement

Le fonctionnement normal n'existe que si :

- un jeu de fonctionnement est suffisant entre la masse et les guides,
- les planches sont propres et dans un état d'usure normale,
- la masse est arrêtée à une hauteur non nulle, les moteurs tournent (Figure 2),
- il n'y a pas de fausse manipulation de l'estampeur,
- la sécurité de la machine n'est pas verrouillée.

La machine est conçue pour frapper soit des petits coups, soit des grands coups. L'opérateur choisit la pédale correspondante et les capteurs « petite chute » et « grande chute » sont réglés selon le besoin à une certaine hauteur.

### **Début des frappes**

Dès que l'estampeur appuie sur une des pédales (petit coup ou grand coup), les sabots de frein se desserrent et la masse tombe en chute libre.

Lorsque le capteur magnétique du bas détecte l'arrivée de la masse, et après une petite temporisation, les rouleaux se serrent sur les planches pour remonter la masse.

Lorsque le capteur magnétique petite chute si la pédale petit coup est actionnée (ou le capteur magnétique grande chute si la pédale grand coup est actionnée) détecte le passage de la masse, les rouleaux se desserrent pour libérer à nouveau la masse...

Tant que la pédale n'est pas relâchée par l'estampeur, le cycle « chute libre et remontée » continue.

### **Fin des frappes**

Dès que la pédale est relâchée, les rouleaux se desserrent et les sabots de frein se resserrent.

Les sabots de frein ne s'opposent pas à la remontée de la masse mais s'opposent à la descente de celle-ci. Lorsque la masse remonte, il faut attendre que la masse redescende avec une petite course de retour pour que les sabots de frein se ferment et entrent en action.

La position d'arrêt dépend de l'instant où l'estampeur lâche la pédale. Il peut lâcher la pédale pendant la descente ou pendant la remontée.

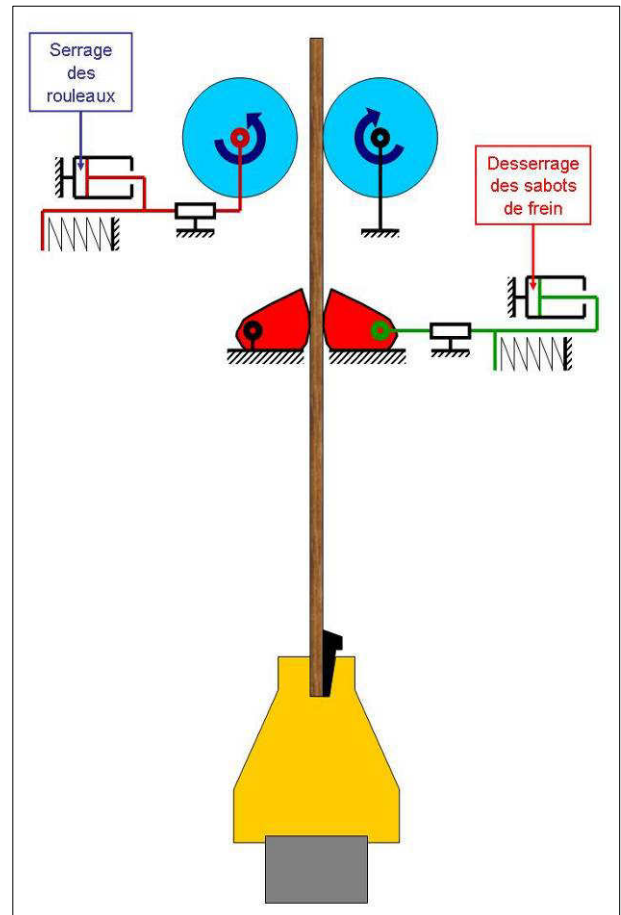


Figure 2 - Schéma du principe de fonctionnement du LG1000

## Estampage d'un coin

Le « Coin LMC » est utilisé comme support de cette expérience.

Le coin est ici frappé en 6 coups. Après le premier coup, l'estampeur relâche la pédale pour arrêter la masse et souffler la calamine. Les cinq coups suivants seront donnés sans relâche.

Le tracé « nu » des courbes de la position en hauteur et de la vitesse de la masse sont données ci après (Figure 6) afin de percevoir les sens de la variation et de bien identifier les 6 chocs.

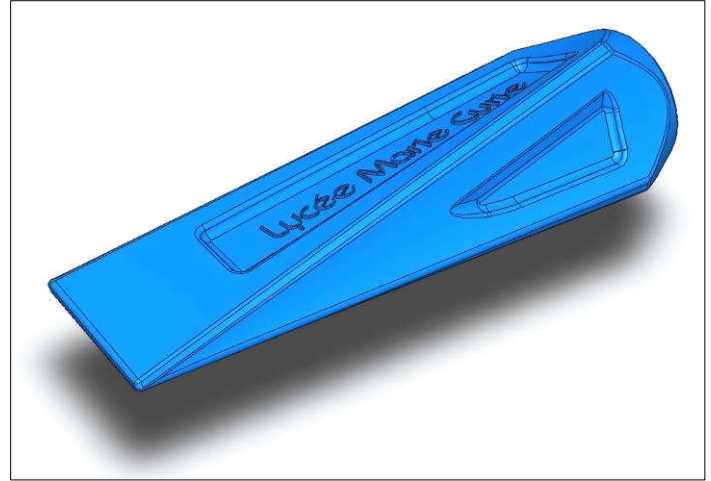


Figure 3 -Coin LMC estampé

L'échelle de temps a été volontairement raccourcie de quelques secondes (10,4 s exactement) entre le premier et deuxième coup afin de rendre le graphique plus lisible, et exploitable.

## Enregistrement du mouvement de la masse

Une vidéo (25 images/s) a été enregistrée, et a permis à postériori de relever la position de la masse tombante au fil du temps. Pour étalonner la mesure et améliorer la saisie, deux étiquettes contrastées ont été collées à 0,5 mètre l'une de l'autre.

Les positions successives sont relevées à l'aide d'un logiciel permettant d'obtenir un tableau de valeurs de positions image par image.

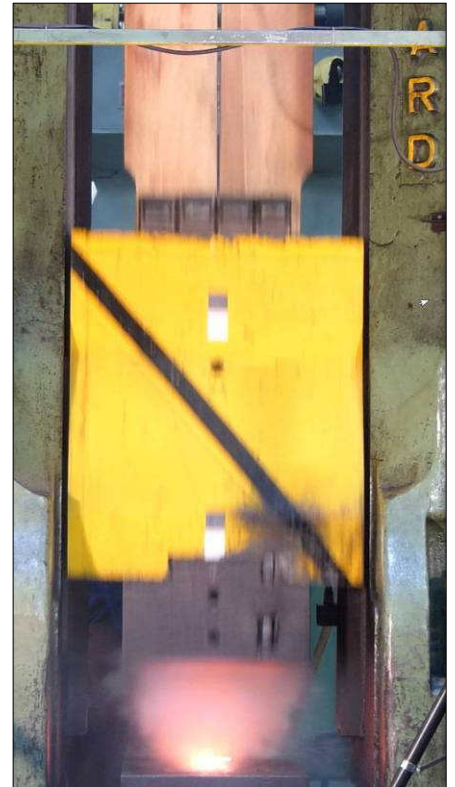


Figure 4 - Enregistrement vidéo

## Tracé des courbes de position et de vitesse en fonction du temps

Les valeurs de position relevées sont ensuite traitées par calcul dans un tableur :

- ajustement de la hauteur  $h = 0 \text{ m}$ , correspondant à la position matrices fermées,
- calcul de la vitesse en un point à partir des positions du point qui précède et du point qui suit :

$$v_i = \frac{h_{i+1} - h_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

- tracé des courbes de position et de vitesse en fonction du temps.

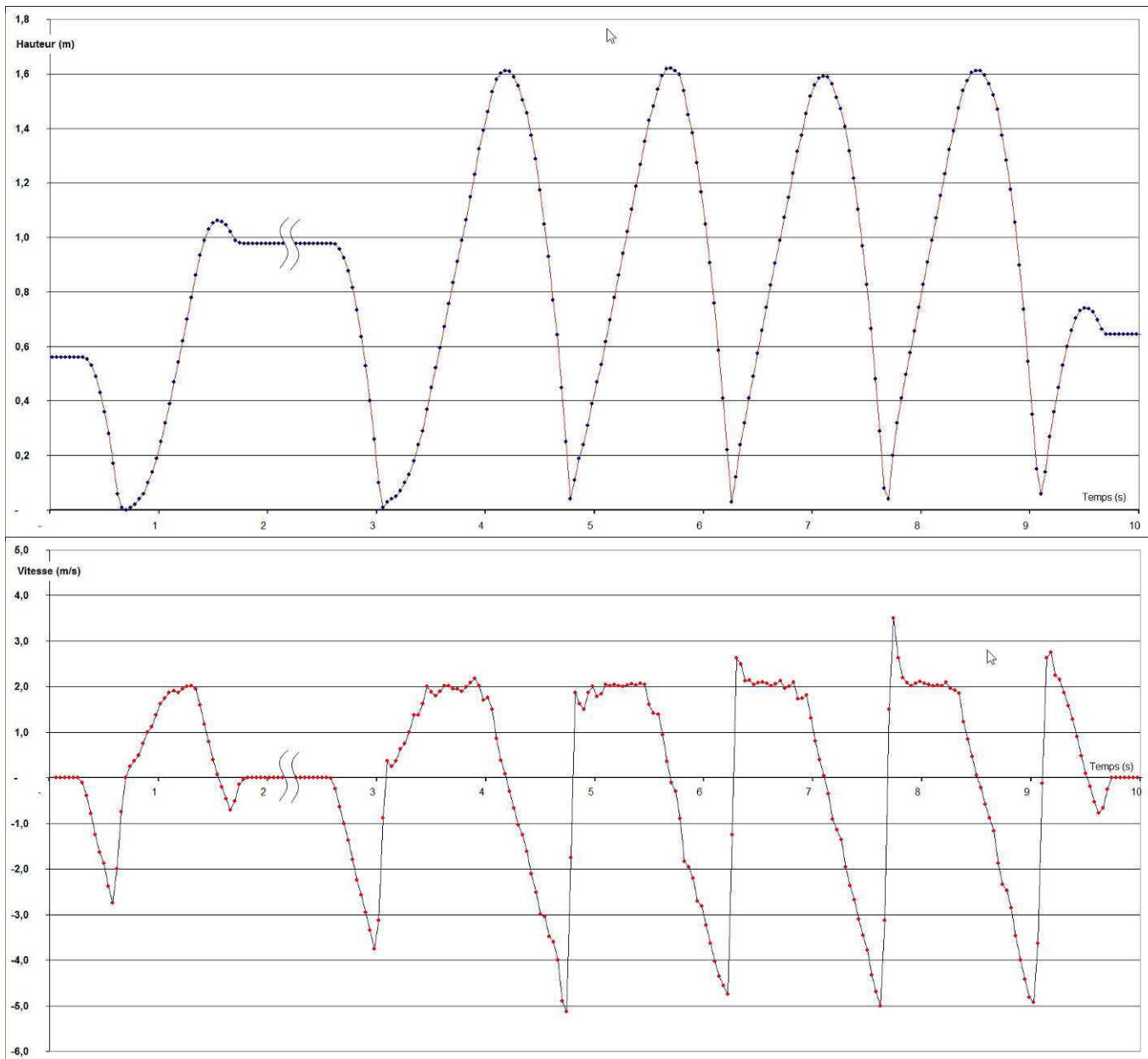



Figure 5 - Enregistrements des hauteurs et vitesses sur "Coin LMC" en 6 coups

## Travail demandé

Le travail s'appuie essentiellement sur l'exploitation des courbes de hauteur et de vitesse.

Certaines informations graphiques sont portées sur les Documents Réponse :




- les traits rouges verticaux  sur le Document réponse DR3 notent les instants où les chocs se produisent sur la courbe de hauteur et leur correspondance sur la courbe de vitesse (instant = durée courte : La durée du choc inférieure à  $\approx 0,05$  s et peut atteindre  $\approx 0,001$  s dès que les coups deviennent assez durs sur cette machine),
- les courbes de tendance (ici ce sont des droites) sur la courbe de vitesse.

D'autres informations seront apportées par vos soins sur les Documents Réponse.

### 1. Comportement du marteau pilon avant et après les différents chocs

#### 1.1. Etude et analyse du 1<sup>er</sup> choc




Le premier choc est détaillé sur le Document réponse DR1

En vous appuyant sur la description du fonctionnement du marteau pilon, étudiez les différents types de cinématiques données par les courbes de tendance : bleues , vertes  et oranges .

- 1.1.1. Pour chacune des phases, vous identifierez les sens de la variation de la vitesse et estimerez la valeur de l'accélération correspondante. Dessiner le graphique des accélérations correspondant sur le Document réponse DR1. *Présentez et détaillez vos calculs.*
- 1.1.2. Pour les phases de plus longues durées identifier le comportement de la masse. Par exemple : Phase A-B : La masse descend en chute libre sous l'effet de la pesanteur.
- 1.1.3. Que devient la vitesse de la masse juste après le choc ?
- 1.1.4. Comment peut-on qualifier ce premier choc ?
- 1.1.5. Identifiez sur le graphique l'effet de la temporisation entre le signal du capteur bas et le serrage des rouleaux sur la planche.
- 1.1.6. Identifiez l'instant où l'opérateur a relâché la pédale ?

#### 1.2. Analyse des 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> chocs

Les 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> chocs sont détaillés sur le Document réponse DR2

En vous appuyant sur la description du fonctionnement du marteau pilon, étudiez les différents types de cinématiques données par les courbes de tendance : bleues , vertes  et oranges .

- 1.2.1. Pour chacune de ces phases, vous identifierez les sens de la variation de la vitesse et estimerez la valeur de l'accélération correspondante. Dessiner le graphique des accélérations correspondant sur le document réponse DR2. *Présentez et détaillez vos calculs.*
- 1.2.2. Pour chacune des phases identifier le comportement de la masse. Par exemple : Phase A4-B4 ou A5-B5 : La masse monte puis redescend en chute libre sous l'effet de la pesanteur.
- 1.2.3. Que devient la vitesse de la masse juste après chacun des chocs ?
- 1.2.4. Que devient la vitesse quelques dixièmes de secondes plus tard ?  
Expliquez le comportement de la masse par rapport aux rouleaux.

### **1.3. Relation entre hauteur de chute et vitesse maximale atteinte**

L'ensemble des chocs est représenté sur le Document réponse DR3

- 1.3.1. Donnez la relation qui lie en théorie la hauteur de chute et la vitesse maximale atteinte.
- 1.3.2. Relevez les hauteurs de chutes successives, ainsi que les vitesses d'impact correspondantes.
- N. B. : Pour les vitesses d'impact, vous prendrez l'intersection des droites modélisant la vitesse pendant la descente avec la droite verticale rouge et non un point particulier enregistré. On fera de même ultérieurement pour les vitesses de rebond.*
- 1.3.3. Calculez à partir de chacune de ces grandeurs les énergies que devrait avoir emmagasinée la masse en chute libre (masse tombante + planches + outil supérieur).
- 1.3.4. Comparez les résultats de ces deux calculs.

## **2. Bilan énergétique et évolution des rendements au fil des chocs**

### **2.1. Calcul de l'énergie de forgeage à chaque choc**

En admettant que l'énergie dissipée dans la chabotte est de l'ordre de 10% de l'énergie cinétique initiale et en vous basant sur les relevés de vitesses (impact et rebond), formulez le calcul des différentes énergies :

- Energie disponible ou énergie cinétique initiale,
- Energie de rebond,
- Energie de la chabotte,
- Energie de forgeage.

Calculez le rendement de chaque choc.

Présentez les relevés et les résultats de calcul en utilisant le tableau sur le Document réponse DR3



## 2.2. Calcul du rendement global des chocs

2.2.1. Calculez le rendement global de ces 6 chocs.

2.2.2. Est-ce une valeur que l'on peut attendre d'ordinaire ?

## 3. Rigidité du pilon et estimation des efforts de forgeage

### 3.1. Estimation de la rigidité (ou raideur) du marteau pilon

En partant des principes que :

- l'intensité du choc le plus dur qu'il puisse être sur cette machine correspond à la transformation de 90% de l'énergie cinétique initiale en énergie élastique,
- la masse subit lors de ce choc une accélération positive dont l'ordre de grandeur est égal à mille fois l'accélération de la pesanteur,

estimez la rigidité du marteau pilon.

La hauteur maximale de chute de ce marteau pilon est de 1,7 m.

### 3.2. Estimation des efforts à chaque choc

En faisant l'hypothèse que l'énergie de rebond égale l'énergie élastique, estimez l'intensité de l'effort maximal atteint au cours de chacun des 6 chocs.

*Présentez et détaillez vos calculs.*

## Conclusion

Concluez sur l'intérêt de tous ces résultats pour modéliser et dites éventuellement quels éléments observables en cours de production il vous manque pour « étalonner » les simulations.

---

### Barème de notation

1<sup>ère</sup> partie sur 8 points,

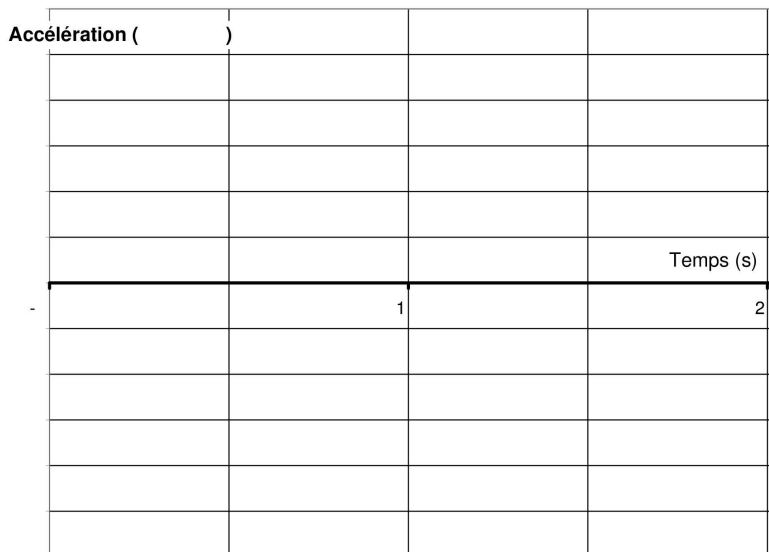
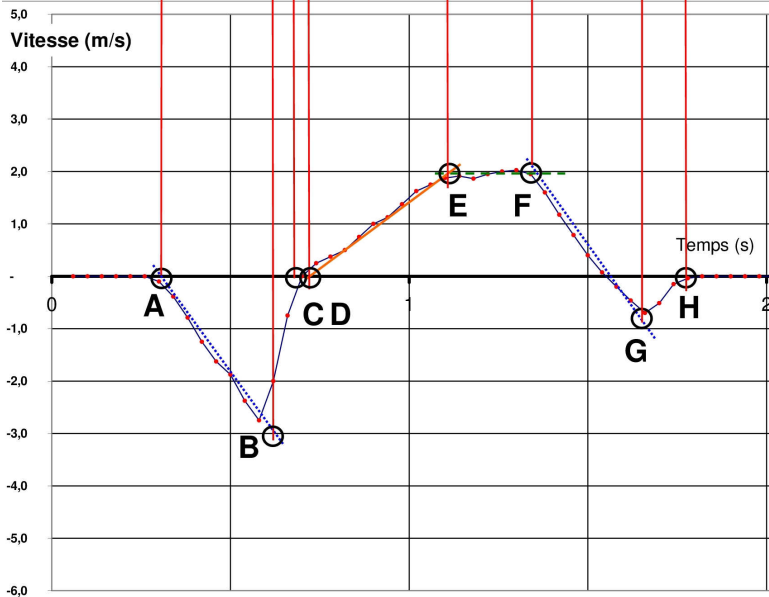
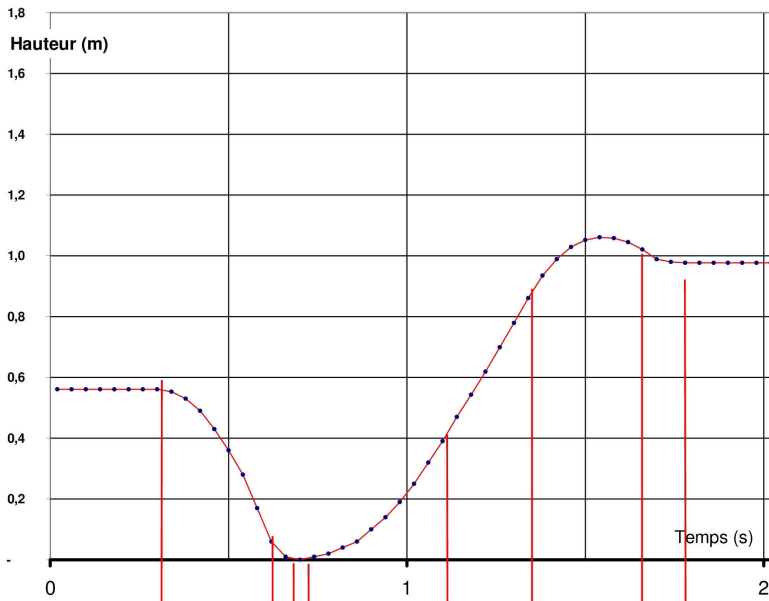
2<sup>ème</sup> partie sur 5 points,

3<sup>ème</sup> partie sur 5 points,

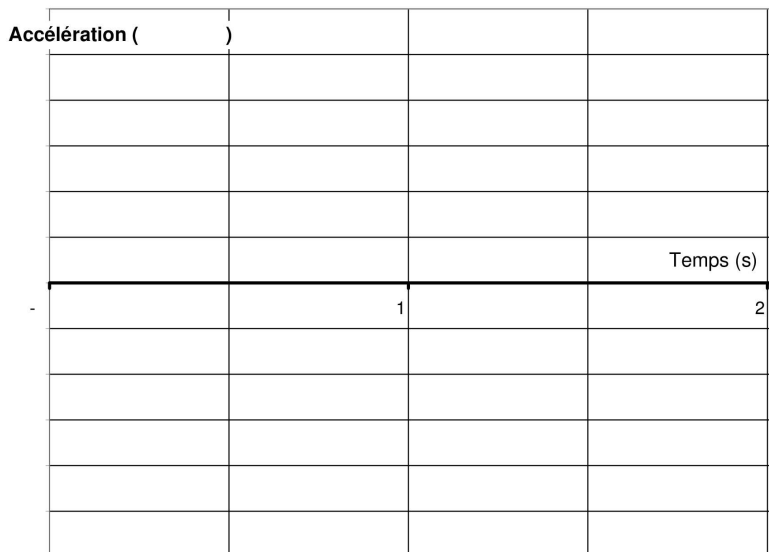
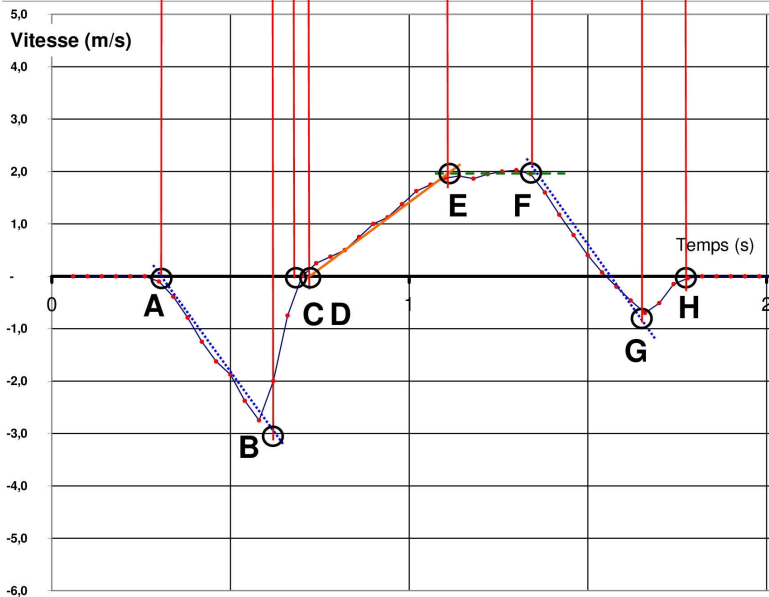
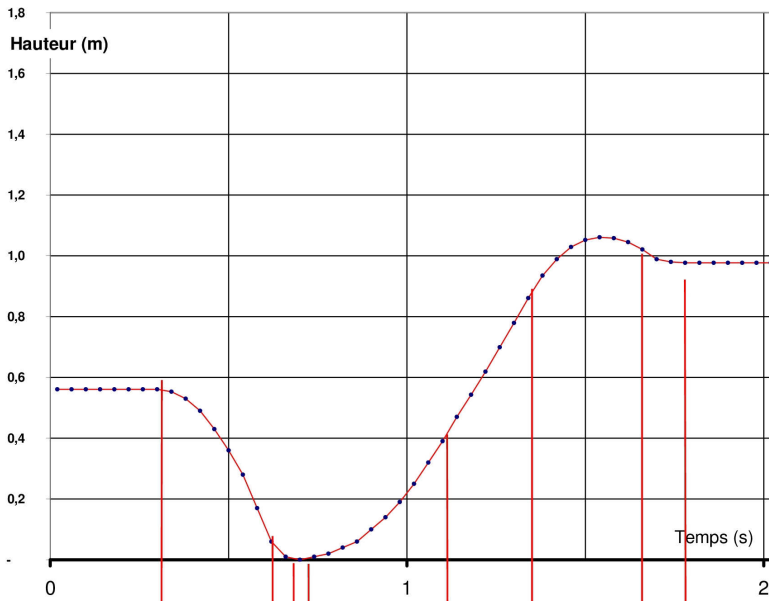
Conclusion sur 2 points

Total sur 20 points

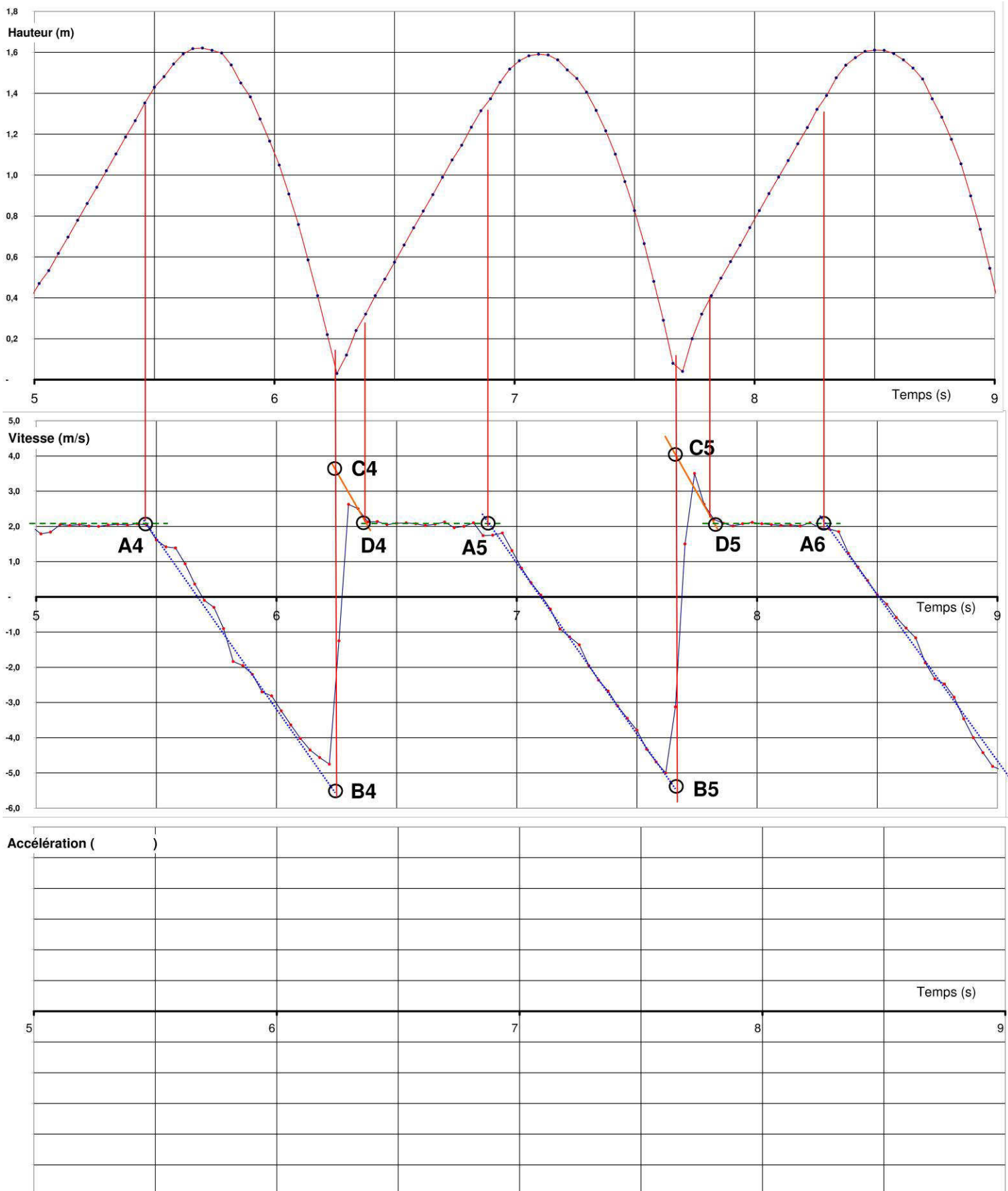
Courbes « Hauteur, Vitesse et accélération » pour le premier choc



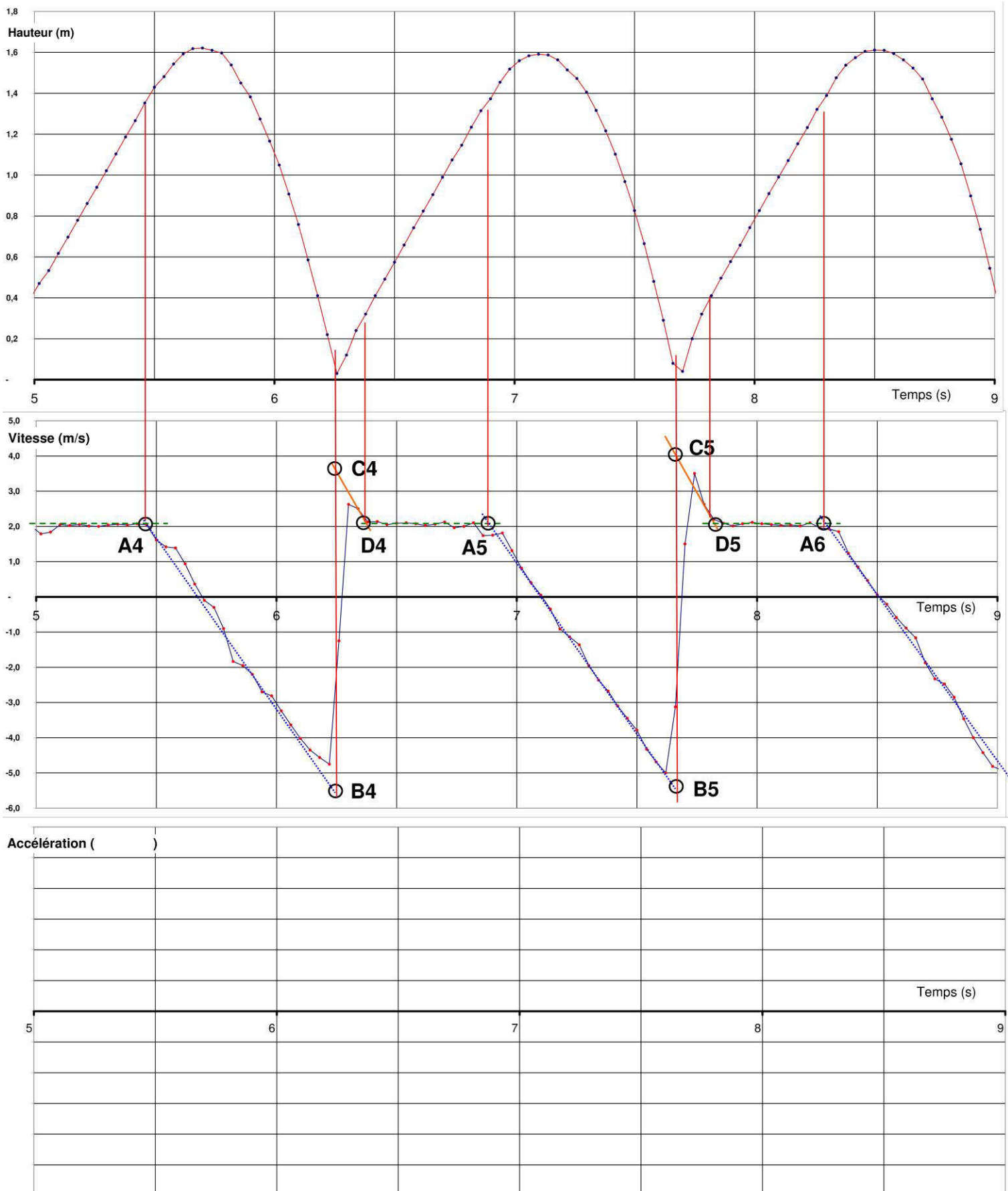
Courbes « Hauteur, Vitesse et accélération » pour le premier choc



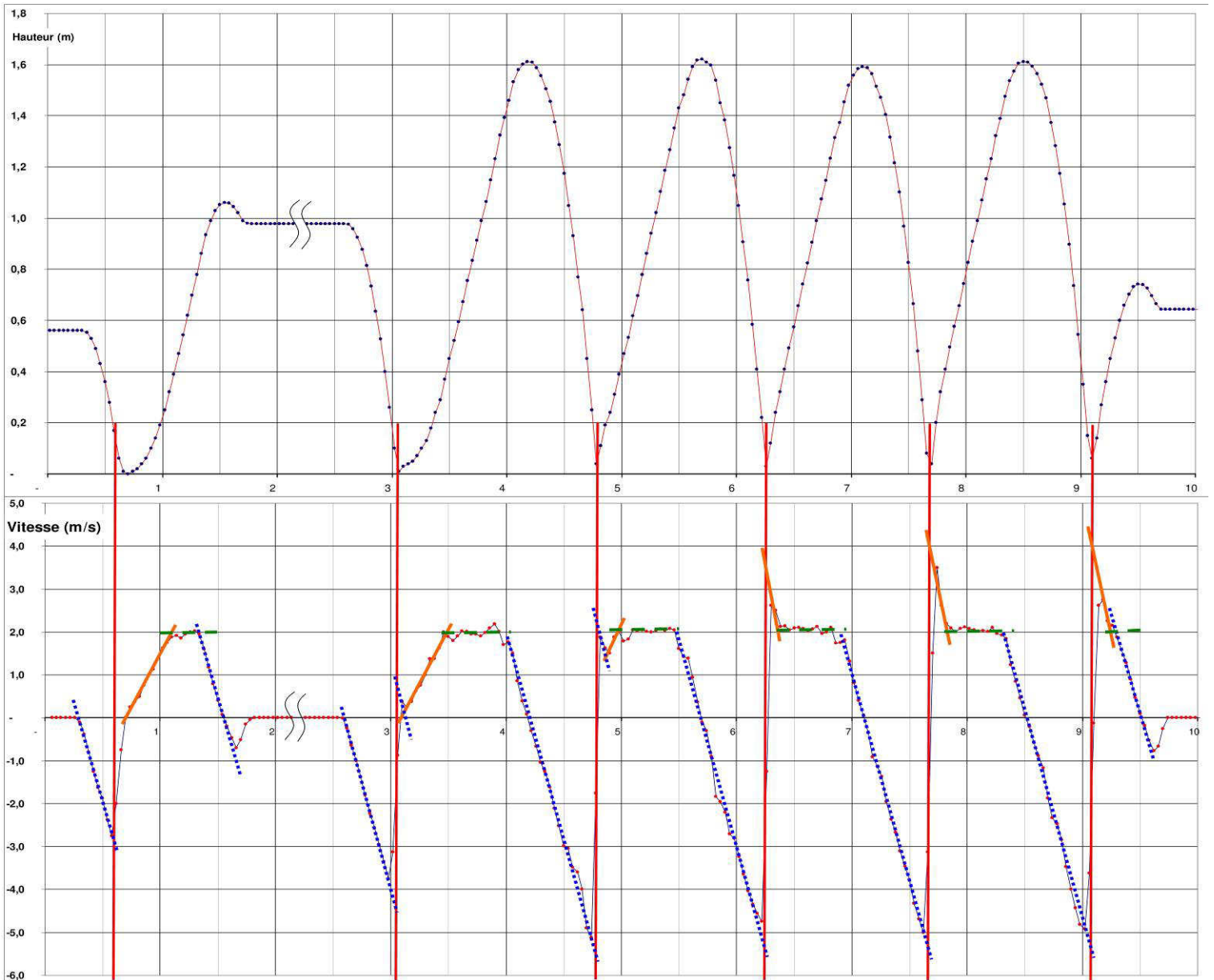
Courbes « Hauteur, Vitesse et accélération » pour les chocs 4 et 5



Courbes « Hauteur, Vitesse et accélération » pour les chocs 4 et 5

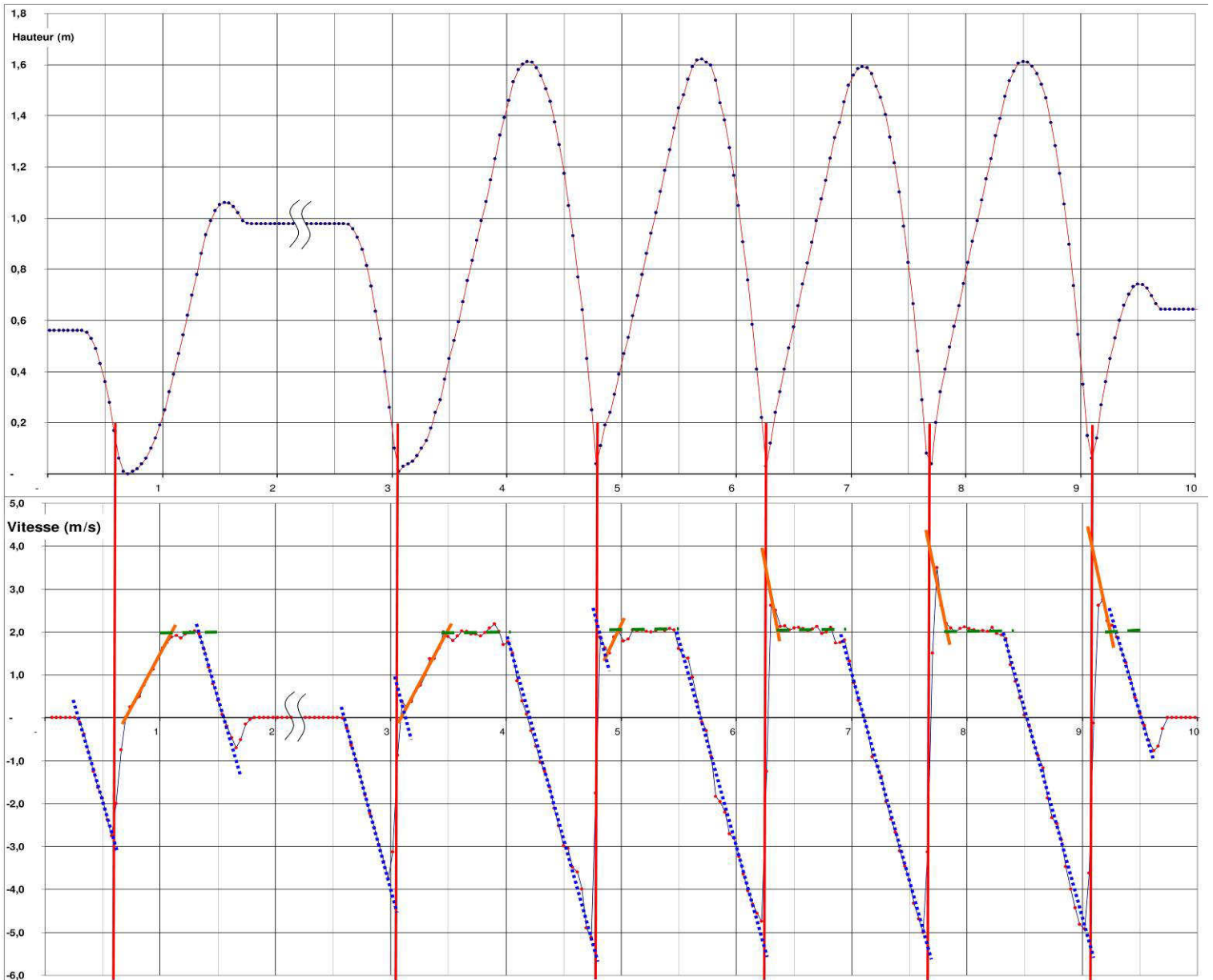


Bilan énergétique des chocs



Numéro de choc	V impact (m/s)	V rebond (m/s)					
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Bilan énergétique des chocs



Numéro de choc	V impact (m/s)	V rebond (m/s)					
1							
2							
3							
4							
5							
6							