

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2015

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé.

Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Impacteur d'essai de choc piéton



Constitution du sujet

- Texte.....Page 3
- Documents techniques.....Page 15
- Document réponse.....Page 23

Le sujet comporte 25 questions

**Le document réponse DR1 est à rendre
avec les copies**

Avec l'évolution croissante de la mobilité, la sécurité des personnes dans les transports est un enjeu majeur dans la société actuelle.

Les accidents de la route sont également la cause de nombreuses séquelles physiques et de traumatismes psychologiques.

Pour améliorer les dispositifs de sécurité et évaluer la diminution des risques de blessure, les constructeurs utilisent des essais de chocs (terme traduit de l'anglais crash test). Il s'agit de reproduire en laboratoire l'impact d'un véhicule automobile avec un corps humain. Le conducteur et les passagers sont représentés par des mannequins spécialement étudiés, appelés dispositifs anthropomorphes d'essai, ou mannequins de choc.

Ces travaux, menés conjointement par les constructeurs, les pouvoirs publics et des organismes de recherche internationaux ont permis des avancées considérables depuis 40 ans dans la compréhension des mécanismes de lésion, et dans la mise en œuvre de dispositifs techniques efficaces dans les véhicules.

Des statistiques d'accidentologie ont permis d'établir que la vitesse d'un véhicule, percutant de côté un piéton traversant une route, dépasse rarement 40 km/h. D'après des études menées en biomécanique des chocs et des observations médicales, les principales blessures à la jambe lors d'une collision latérale sont des ruptures des ligaments croisés et collatéraux, ainsi que des fractures du tibia.

L'amélioration de la sécurité des piétons (lors d'un impact avec un véhicule) nécessite donc le développement d'un mannequin de choc capable de délivrer une signature d'impact exploitable en regard de la réglementation et des principales blessures constatées.

Le sujet porte sur la conception d'un tel mannequin et la définition de son environnement d'utilisation, système de projection et centrale d'acquisition.

La première partie permet de définir la structure de l'impacteur, à partir de l'analyse du comportement biomécanique du genou et des critères de blessure.

La deuxième partie permet de valider les conditions de réalisation de l'essai de choc sur le système de projection.

La troisième partie permet de vérifier la configuration de la centrale d'acquisition et de traitement du signal acquis.

La quatrième partie permet de valider le dispositif à partir d'une simulation et de résultats expérimentaux.

L'étude se conclut par une synthèse des résultats obtenus.

1. Définition de l'impacteur de jambe

Objectif(s) de cette partie : définir les caractéristiques de la structure de l'impacteur.

Une directive européenne (2003/102/EC) oblige les fabricants de voitures à assurer la protection des piétons en adaptant les éléments de sécurité. Pour vérifier l'efficacité de ces dispositifs, elle impose des tests de choc utilisant un impacteur mécanique représentant la jambe d'un piéton. Cet impacteur est projeté sur le pare-chocs du véhicule

pour évaluer les dommages corporels au niveau du genou et du tibia lors d'une collision latérale. Les conditions de l'essai doivent être représentatives des situations réelles.

La figure 1 représente schématiquement le protocole utilisé lors de ces essais. Pour des raisons pratiques, il est plus aisé de projeter la jambe sur un véhicule fixe. Cette situation inverse conserve les vitesses relatives du véhicule par rapport à la jambe. Les mesures enregistrées permettent de vérifier si les caractéristiques d'absorption d'énergie de la voiture valident les critères de protection.

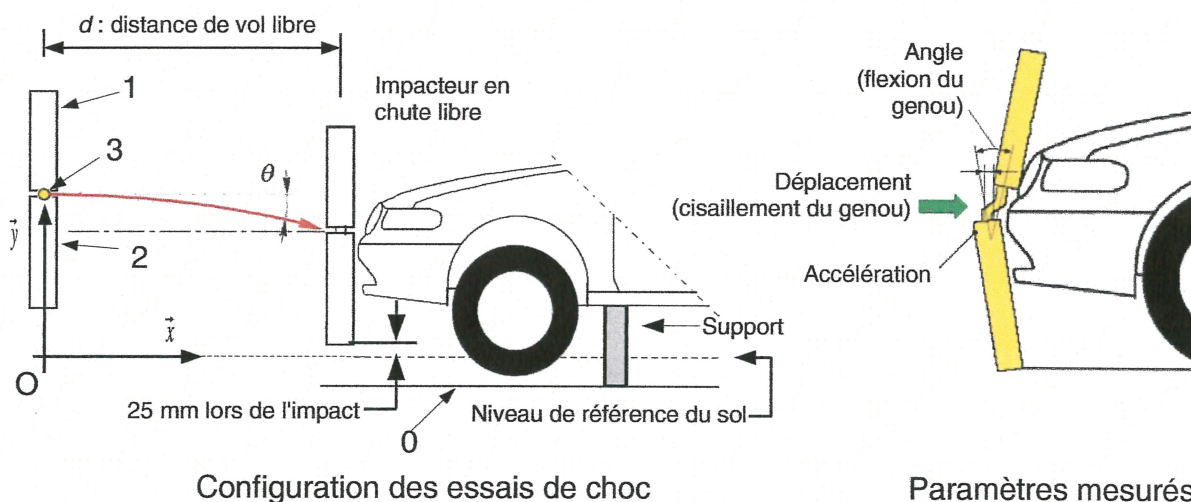


Figure 1 : schéma de principe d'un impact en laboratoire

Le document technique DT1 représente les courbes de risque évaluant la probabilité de blessure en fonction de trois critères :

- angle de rotation latérale du genou appelé **angle de flexion** ;
- déplacement latéral du genou appelé **déplacement de cisaillement** ;
- **accélération du tibia**.

Les critères de blessure retenus pour tenir compte de la variabilité des différentes conditions d'accident et de morphologie sont présentés figure 2.

Fémur :	aucune mesure
Genou :	
Angle de flexion :	19°
Déplacement de cisaillement :	6 mm
Tibia : accélération (en g)	170 g

avec $g \approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Figure 2 : seuils des critères de blessure

Pour définir la structure de l'impacteur avec la meilleure biofidélité possible, on s'appuiera sur les courbes de comportement du genou humain (voir le document technique DT2) pour un choc latéral.

Pour répondre à cette situation l'impacteur sera constitué de deux poutres, le fémur repéré 1 et le tibia repéré 2, reliées par une pièce intermédiaire correspondant au genou repéré 3 (voir figure 1).

Ces ensembles sont reliés par deux liaisons :

- une liaison glissière repérée L_{13} entre le fémur 1 et le genou 3 ;
- une liaison pivot repérée L_{23} , entre le genou 3 et le tibia 2.

L'ensemble est recouvert d'une mousse pour reproduire le comportement de la chair et de la peau.

L'instrumentation de l'impacteur permet de mesurer les déplacements dans ces deux liaisons (l'angle de flexion et le déplacement de cisaillement) ainsi que l'accélération du tibia pour vérifier que les critères de blessure sont respectés lors d'un choc latéral.

Q1. À l'aide des informations fournies ci-dessus et du document technique DT2, **réaliser** le schéma cinématique de l'impacteur, dont la trame est représentée dans le cadre de la figure 3, en y reportant les symboles des liaisons L_{13} et L_{23} et l'ensemble genou 3.

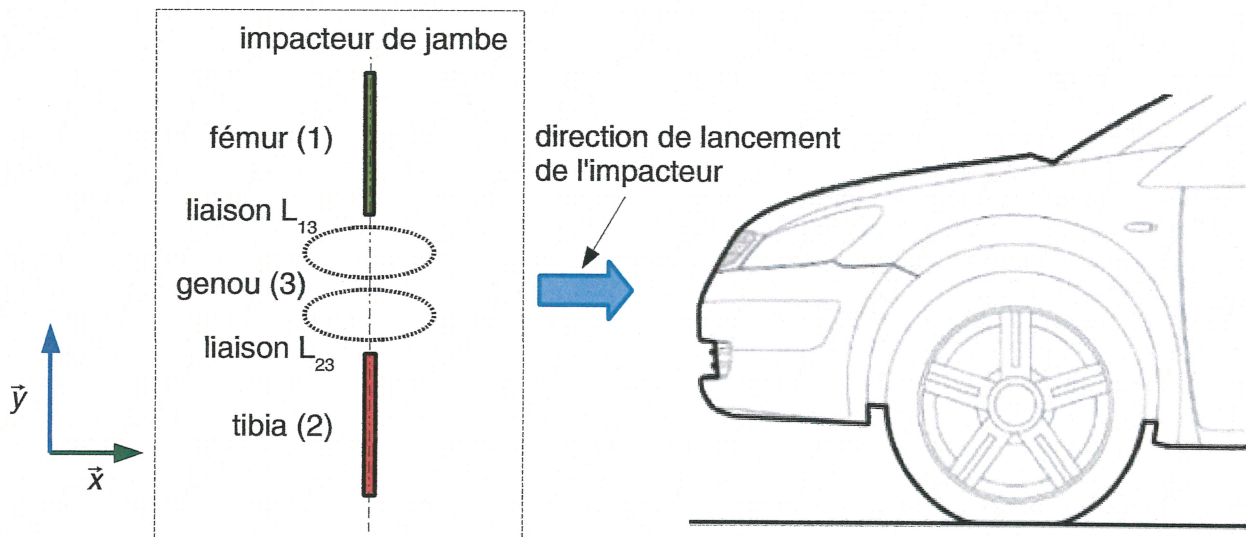


Figure 3 : trame du schéma cinématique de l'impacteur, dans son contexte, à compléter sur la copie

Pour la conception de l'impacteur, les mouvements relatifs du fémur 1 par rapport au tibia 2 lors d'un choc seront liés aux déformations de trois pièces (voir document technique DT3), une barre de flexion pour le cisaillement du genou et 2 plaques pour la flexion du genou. Une simulation du comportement en cisaillement de l'impacteur pour une force latérale appliquée $F = 6\,000\text{ N}$ (valeur maximale imposée par la norme) a donné sur la barre de flexion les résultats présentés sur le document technique DT3.

Q2. Au vu des résultats des déplacements obtenus et de l'architecture de l'impacteur présentés sur le DT3, **justifier** le fait que la structure de la barre de flexion permet de mesurer le déplacement de translation en cisaillement.

Dans l'articulation humaine, les ligaments s'opposent à ces déplacements. Le document technique DT2 représente l'évolution du déplacement en cisaillement d en fonction de l'effort latéral F induisant ce déplacement. Les comportements réels sont compris entre les deux courbes limites.

La raideur en cisaillement, notée K_c , est définie en supposant une relation de proportionnalité entre le déplacement et l'effort latéral : $F = K_c \cdot d$.

- Q3.** À partir des courbes du document technique DT2, **déterminer** les valeurs maximale et minimale de la raideur en cisaillement du genou en prenant comme points caractéristiques ceux associés à un déplacement de 6 mm.
- Q4.** À partir des résultats de simulation fournis dans le document technique DT3, **déterminer** la raideur en cisaillement de la barre de flexion. Cette valeur respecte-t-elle les limites mesurées sur le genou ?
- Q5.** Sachant que la barre de flexion doit travailler dans le domaine élastique **justifier** que le matériau choisi convient.

2. Validation des conditions de réalisation d'un essai de choc

Objectif(s) de cette partie : **définir** les valeurs des paramètres du propulseur pour réaliser un essai de choc dans le respect des normes.

Lors de la projection d'un impacteur « bas de jambe » sur un véhicule, on constate une phase de vol libre entre le moment du largage et le choc. L'impacteur étant soumis à la gravité, il va donc suivre une trajectoire parabolique (voir figure 1).

Pour respecter le cahier des charges correspondant à l'instant du contact entre l'impacteur et le véhicule lors de l'essai de choc (voir figure 4), il faut vérifier les conditions suivantes :

- tolérance d'orientation de l'impacteur dans le plan longitudinal et dans le plan transversal de +/- 2° ;
- bas de l'impacteur situé à 25 mm au dessus du niveau de référence du sol avec une tolérance de +/- 10 mm (voir figure 1) ;
- vitesse du centre d'inertie G de l'impacteur de $11,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ avec une tolérance de +/- 0,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- angle du vecteur vitesse du centre d'inertie G de l'impacteur dans le plan horizontal et parallèle à l'axe du véhicule avec une tolérance de +/- 2°.

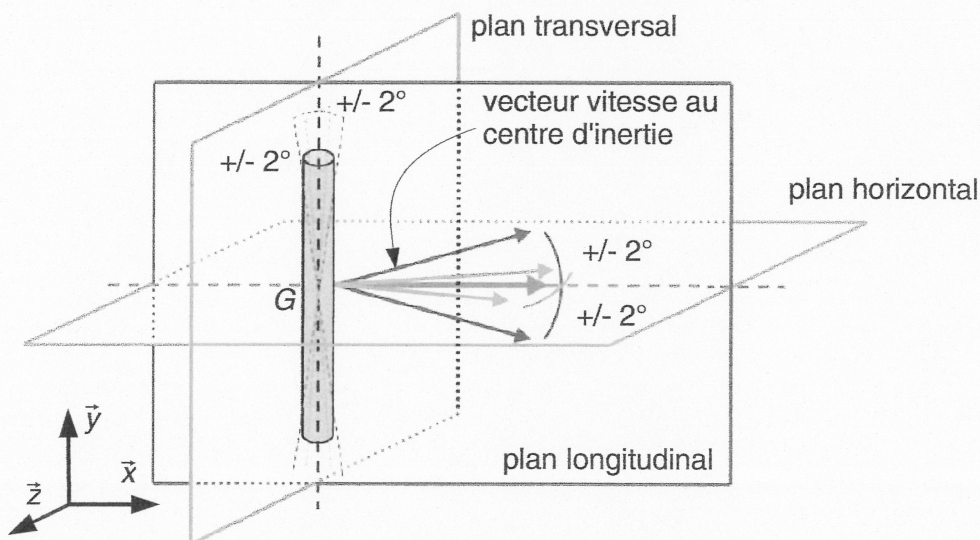


Figure 4 : contraintes d'orientation de l'impacteur au contact

Détermination des caractéristiques du tir

On isole l'impacteur, qui sera repéré 1 dans la suite du sujet, juste après qu'il soit lâché par le dispositif de propulsion. Le sol sera repéré 0 dans la suite du sujet.

Hypothèses à cet instant ($t = 0$) :

- l'impacteur est en mouvement de translation horizontale ;
- l'action de l'air par rapport aux autres actions en jeu est négligée.

On note $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ le repère galiléen lié à la Terre utilisé pour l'étude.

La direction verticale ascendante est notée \vec{y} . L'essai se déroule dans le plan (O, \vec{x}, \vec{y}) .

Q6. Appliquer le théorème de la résultante dynamique à l'ensemble isolé. En **déduire** l'expression du vecteur-accélération $\vec{a}(G,1/0)$ du centre d'inertie de l'impacteur par rapport au sol exprimée dans la base (\vec{x}, \vec{y}) .

La distance de vol libre, mesurée horizontalement est : $d = 1$ m (voir figure 3). La vitesse initiale de l'impacteur vaut : $v = 11,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q7. Déterminer les composantes $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur-vitesse du centre d'inertie de l'impacteur, noté $\vec{v}(G,1/0)(t)$, en fonction du temps. En **déduire** t_{impact} , la durée de la phase de vol libre.

Q8. Calculer l'angle θ (en degrés), inclinaison de $\vec{v}(G,1/0)(t_{\text{impact}})$ par rapport au plan horizontal, au moment de l'impact. **Préciser** si le cahier des charges de l'essai est respecté. Sinon, **proposer** des modifications du protocole d'essai.

Au moment du largage ($t = 0$), le centre d'inertie G de l'impacteur est tel que $\vec{OG} = x_0 \vec{x} + y_0 \vec{y}$ avec $x_0 = 0$ et y_0 l'altitude de G .

Q9. Déterminer les coordonnées $x_G(t)$ et $y_G(t)$ du centre d'inertie de l'impacteur dans le plan (O, \vec{x}, \vec{y}) en fonction de g .

Q10. Calculer la variation d'altitude de l'impacteur au moment de l'impact. En déduire à quelle hauteur par rapport au sol doit se situer le bas de jambe, au moment du largage, pour que le cahier des charges de l'essai soit respecté.

Vérification des performances du propulseur

L'actionneur du système de propulsion de l'impacteur est un vérin hydraulique double tige (figure 6), dont les principales caractéristiques sont :

- course $c = 400 \text{ mm}$;
- diamètre piston $\varnothing_P = 32 \text{ mm}$;
- diamètre tige $\varnothing_T = 18 \text{ mm}$.

On donne la masse des pièces en mouvement :

- impacteur $m_{imp} = 13,4 \text{ kg}$;
- support de jambe $m_J = 8,4 \text{ kg}$;
- tige du vérin $m_T = 3,2 \text{ kg}$.

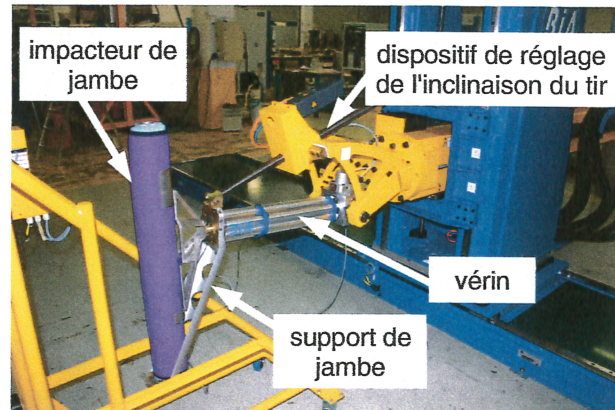


Figure 5 : dispositif de lancement

On isole l'ensemble mobile en translation (impacteur, support de jambe et tige du vérin) (voir figure 5). Les frottements internes au vérin sont négligés.

D'après le théorème de l'énergie-puissance, on peut écrire : $(F - F_c)c = \frac{1}{2} m V^2$

avec :

- F , effort exercé par l'huile sur le piston dans la chambre arrière du vérin ;
- F_c , effort exercé par l'huile sur le piston dans la chambre avant du vérin ;
- c , course du vérin, réglable de 25 à 400 mm ;
- m , masse totale du système en translation ;
- V , vitesse du mécanisme en translation au moment de l'impact ($11,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

On donne la valeur de la contre-pression dans la chambre avant du vérin :

$$p_c = 3 \text{ bar}$$

$$\text{Rappel : } 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

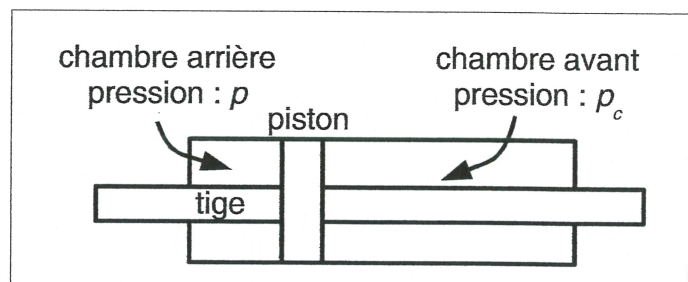


Figure 6 : schéma du vérin hydraulique du propulseur

Q11. Calculer la valeur numérique de l'effort résistant F_c , exercé par l'huile sur le piston dans la chambre avant du vérin.

On règle la course du vérin à $c = 400$ mm.

Q12. Calculer la valeur numérique de F , l'effort exercé par l'huile sur le piston dans la chambre arrière du vérin. En déduire la valeur numérique de p , la pression d'huile dans la chambre arrière du vérin.

Q13. Calculer q_{max} , le débit d'huile instantané à fournir au vérin en fin de course.

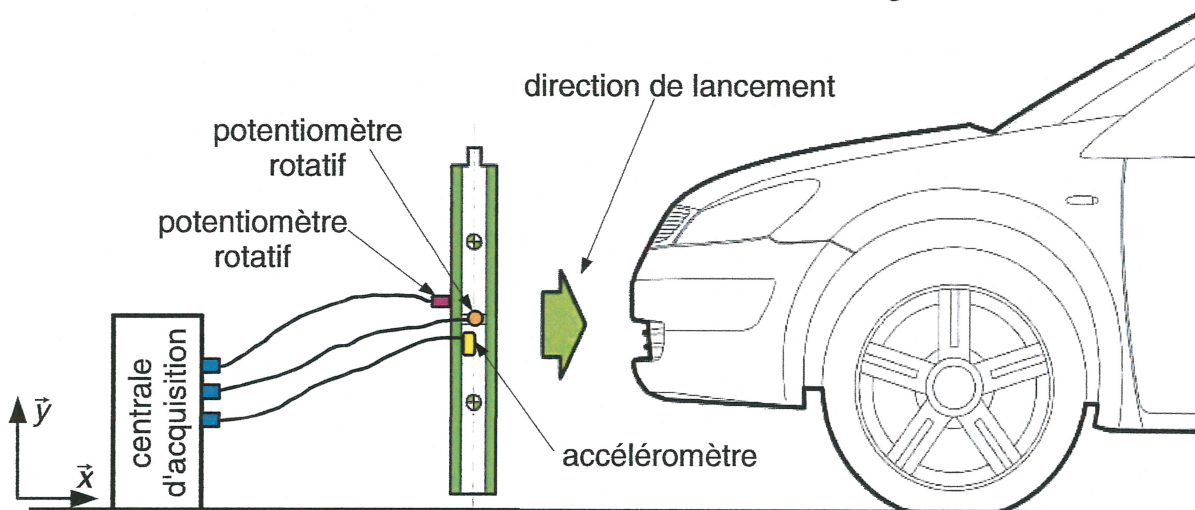
La centrale hydraulique du propulseur permet de fournir un débit d'huile maximal de $400 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ pour une pression de 250 bar.

Q14. Conclure sur la capacité de la centrale hydraulique à propulser l'impacteur dans les conditions requises pour un essai de choc.

3. Paramétrage du système de mesure

Objectif(s) de cette partie : configurer la centrale d'acquisition permettant de traiter les mesures réalisées lors d'un essai de choc.

L'instrumentation permettant de réaliser des mesures est définie figure 7.



Impacteur de jambe instrumenté :

- vitesse, $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- masse, 13,4 kg ;
- énergie cinétique, 825 J.

Plages de mesure des critères de blessure		
angle de flexion en degrés	capteur potentiomètre rotatif	plage : -50° à $+50^\circ$
déplacement de cisaillement en mm	capteur potentiomètre rotatif	plage : -10 mm à +10 mm
accélération du tibia en g	capteur accéléromètre	plage : $-500 g$ à $+500 g$ avec $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Figure 7 : instrumentation de l'impacteur de jambe

Q17. Pour établir la communication avec les puces DS2401, **indiquer** la fréquence de transmission des bits à renseigner dans la centrale d'acquisition. La centrale d'acquisition règle alors l'instant de lecture au milieu du bit transmis par la puce DS2401, **expliquer** pourquoi ce choix convient.

Avant de procéder aux mesures, il est nécessaire de régler la taille mémoire allouée à chaque voie d'enregistrement de la centrale d'acquisition. La mémoire de données utilise 2 octets pour stocker la valeur d'une mesure numérisée prélevée périodiquement avec une période de $T_{ech} = 0,1$ ms. On fixe la durée d'enregistrement des mesures à 5 s afin d'être certain de pouvoir récupérer les données lors du déclenchement de l'essai à l'instant t_0 (voir figure 10).

Par simplification, considérer que : 1 kilo octet (ko) = 10^3 octets.

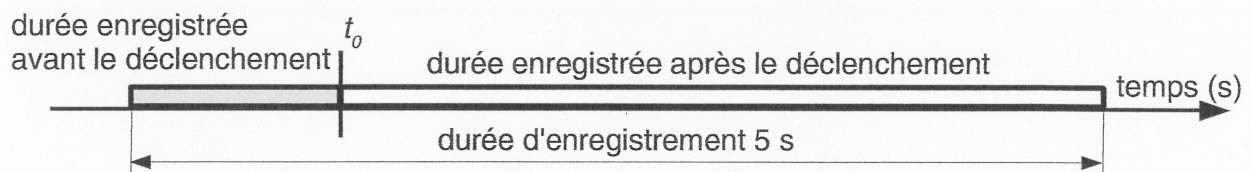


Figure 10 : configuration de la durée d'enregistrement

Q18. **Déterminer** la taille mémoire en kilo octets réglable au dixième à attribuer à chaque voie pour enregistrer les mesures de l'impacteur de jambe lors d'un essai de choc.

Autonomie en énergie de l'enregistreur

Pour simplifier le raccordement des capteurs et disposer d'une certaine mobilité de l'enregistreur lors des essais de chocs, ce dernier dispose d'une alimentation autonome sur batterie. Une fois les mesures réalisées, l'enregistreur est raccordé à une alimentation externe pour gérer la charge de la batterie, et à un ordinateur pour exploiter les données enregistrées. L'objectif est de déterminer la capacité de la batterie en considérant une durée maximale pour réaliser l'essai de choc de 15 minutes.

Tension batterie :	15 V
Capacité de la batterie à 100 % de sa charge :	3 capacités disponibles 700 mA·h ou 1400 mA·h ou 2800 mA·h
Puissance maximale de l'enregistreur :	40 W
Taux de charge considéré :	97 %

Figure 11 : caractéristiques d'alimentation de l'enregistreur

Q19. À partir des caractéristiques d'alimentation de l'enregistreur (voir figure 11), **déterminer** la capacité de la batterie la mieux adaptée pour réaliser l'enregistrement des mesures.

Mise en forme du signal

L'exploitation des mesures d'un essai de choc est effectuée par lecture des valeurs maximales, afin de les comparer aux seuils des critères de blessure. Cependant, les sollicitations subies par l'impacteur de jambe pendant l'essai de choc engendrent des vibrations au niveau des capteurs, ce qui perturbe les mesures enregistrées.

Pour rendre ces mesures exploitables, l'objectif est de développer un filtre numérique programmable pour lisser les mesures.

La figure 12 présente une portion du signal brut de mesure de l'angle de flexion et un exemple du même signal lissé.

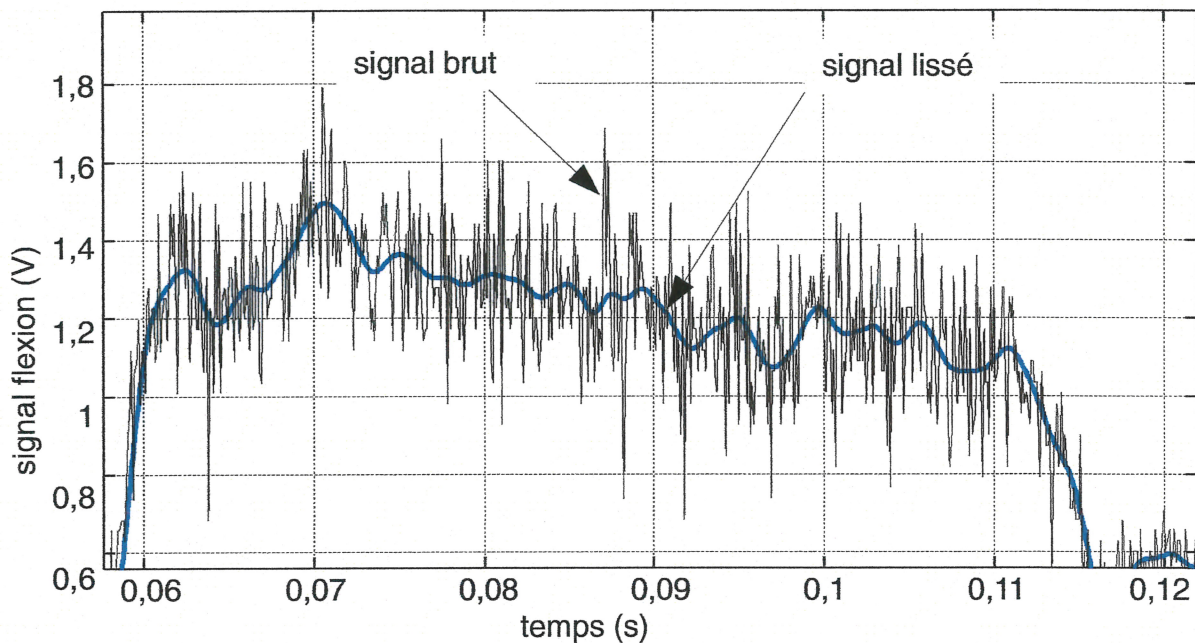


Figure 12 : traitement du signal brut

Q20. En comparant le signal brut et le signal lissé sur la figure 12, **indiquer** et **justifier** le type de filtre à utiliser, parmi les deux proposés dans le document technique DT6.

Pour identifier le filtre numérique, on a simulé la chaîne de mesure et introduit un module de conception de filtre (voir figure 13). En renseignant ce module avec les paramètres du gabarit du filtre souhaité (définis sur le document technique DT5), cet outil détermine les coefficients du filtre numérique nécessaires à sa programmation.

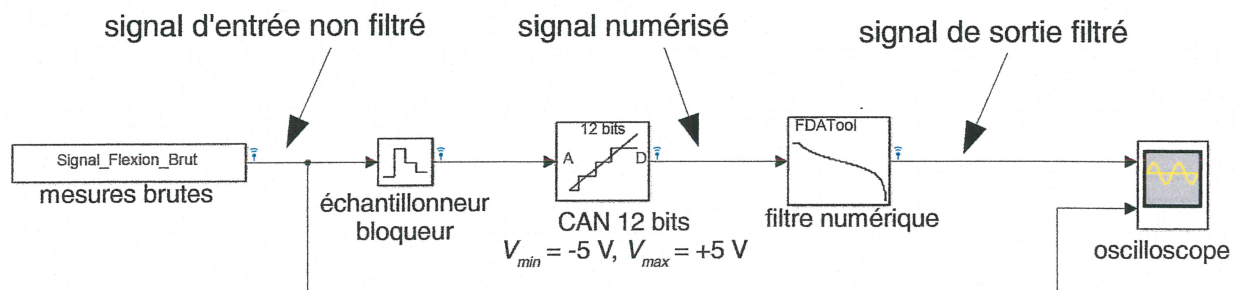


Figure 13 : modèle utilisé pour la conception du filtre

L'identification des coefficients (a_i et b_i) (voir figure 14) permet la mise en équation du filtre numérique pour réaliser sa programmation (voir le document technique DT6).

coefficients du filtre (b_0 à b_4)				
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
0,000652483278	0,000260993311	0,000391489967	0,000260993311	0,000652483278
coefficients du filtre (a_0 à a_4)				
a_0 (inutilisé)	a_1	a_2	a_3	a_4
1	-3,50191264245	4,626060401268	-2,73003655672	0,606932771162

Figure 14 : coefficients a_n et b_n du filtre numérique

Le document technique DT7 représente l'algorithme d'implémentation du filtre numérique.

Q21. Compléter, sur le document réponse DR1, les éléments de l'algorithme pour développer la structure programmée du filtre numérique. Pour cela :

- dans le cadre 1 de l'algorithme, **déterminer** les instructions pour calculer la valeur $Y[4]$;
- dans le cadre 2, **compléter** la structure algorithmique pour remplacer les 8 lignes qui décalent les valeurs des tables E et S par une boucle.

4. Analyse de résultats

Objectif(s) de cette partie : **comparer** un relevé expérimental et une simulation de choc.

Suite à l'implémentation du filtre numérique dans un microcontrôleur spécialisé, les mesures obtenues à partir d'un essai de choc avec l'impacteur de jambe sont présentées sur le document technique DT8. Sur le relevé de l'accélération, on distingue un premier pic (accélération positive) qui correspond au lancement et un deuxième pic (accélération négative) qui correspond au choc de l'impacteur contre le véhicule.

Q22. Relever sur les courbes les valeurs maximales atteintes des trois critères de blessure de l'impacteur lors du choc. **Conclure** sur la validation, ou non, de ce véhicule concernant la protection du bas de jambe piéton.

Dans le but de simuler l'effet d'un choc sur l'impacteur, un modèle numérique de l'impacteur a été développé.

Q23. Comparer les résultats de simulation du comportement dynamique de l'impacteur sur un choc latéral sur l'intervalle de temps 0,2 à 0,3 s (voir le document technique DT8) avec les mesures expérimentales de l'essai de choc. **Déterminer**, pour chaque critère de blessure, si ce modèle peut être validé pour prédéterminer les risques de blessure de la jambe. Si le modèle n'est pas validé, **indiquer** alors la démarche à suivre.

5. Synthèse

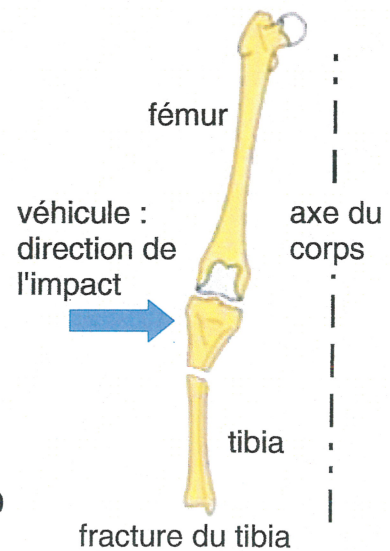
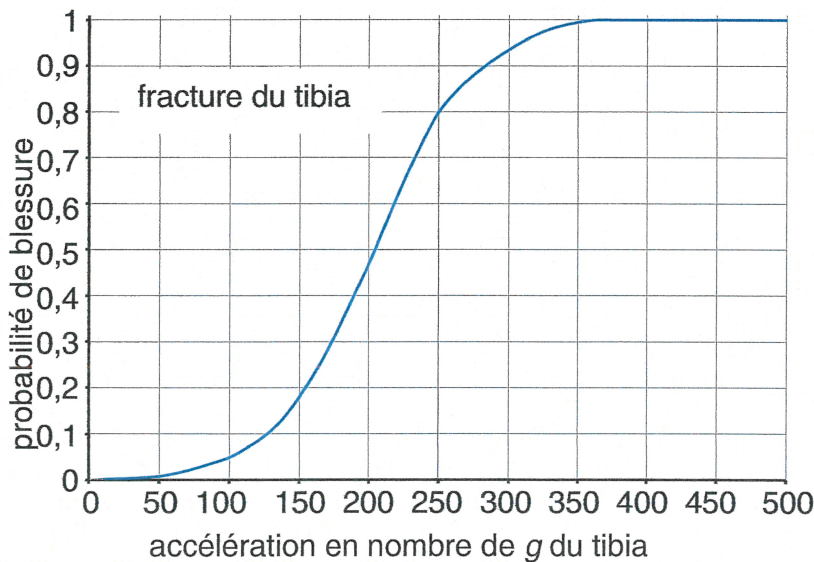
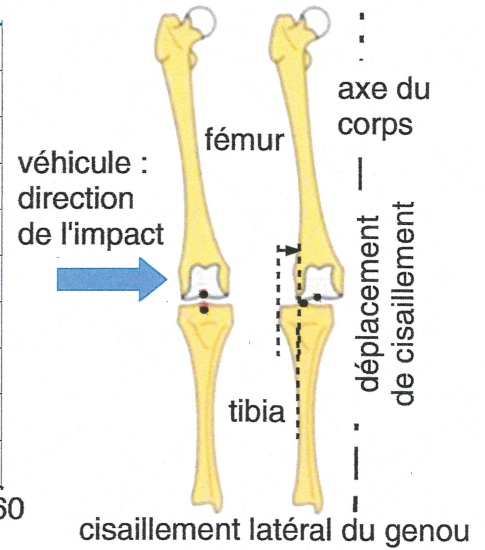
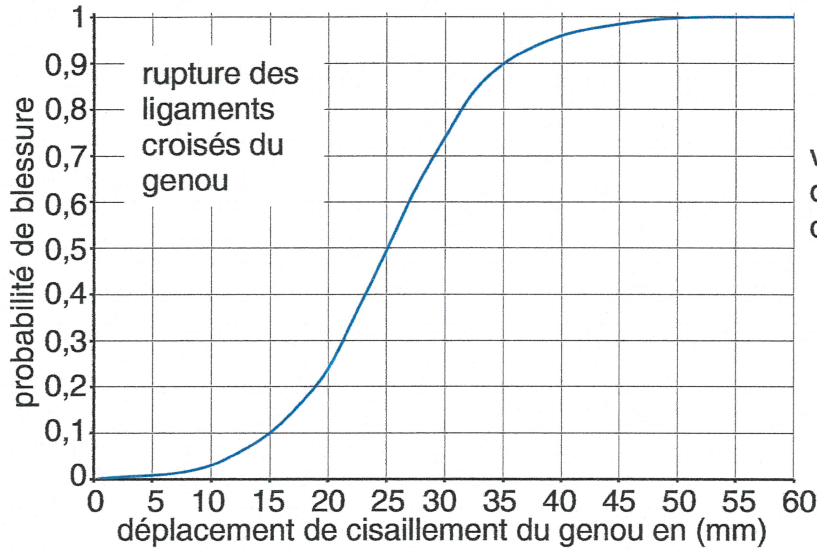
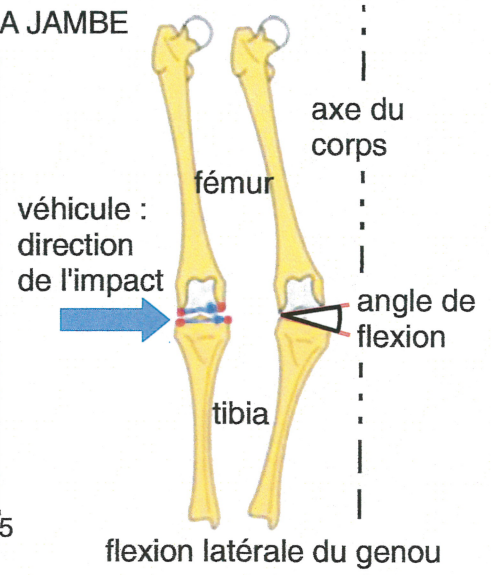
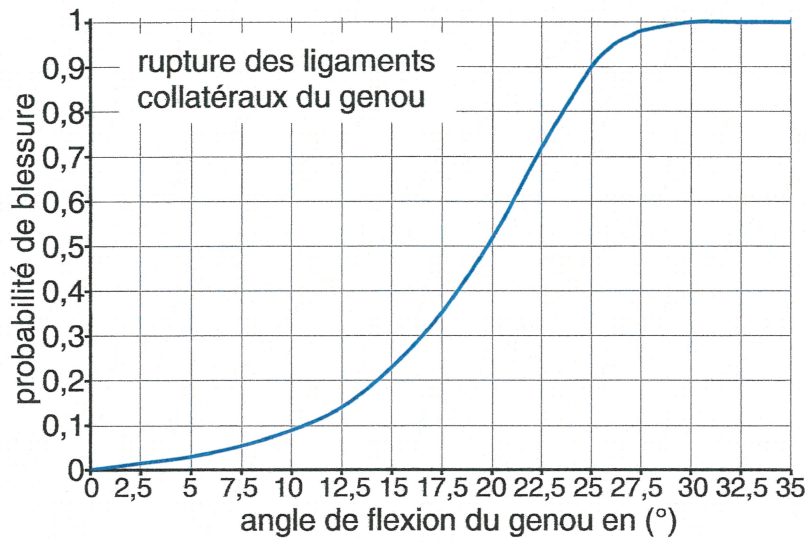
Objectif(s) de cette partie : analyser l'incidence du système sur l'évolution de l'industrie automobile et **proposer** des pistes d'amélioration du système.

Q24. Préciser quelle est l'évolution apportée par l'utilisation de l'impacteur de jambe dans le domaine de la sécurité routière.

Q25. Entre une situation réelle de choc latéral avec un véhicule et un piéton et les essais de chocs avec un impacteur de jambe, **proposer** une ou deux caractéristiques de la jambe réelle non-prises en compte dans l'impacteur étudié.

Document technique DT1

COURBES DE PROBABILITÉ DE BLESSURE À LA JAMBE

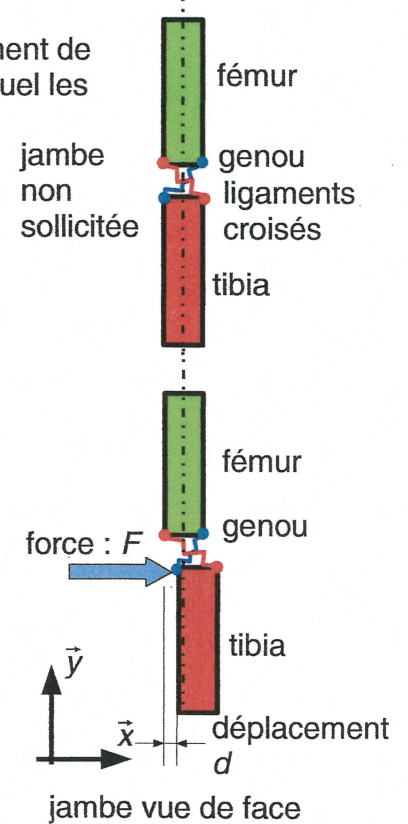
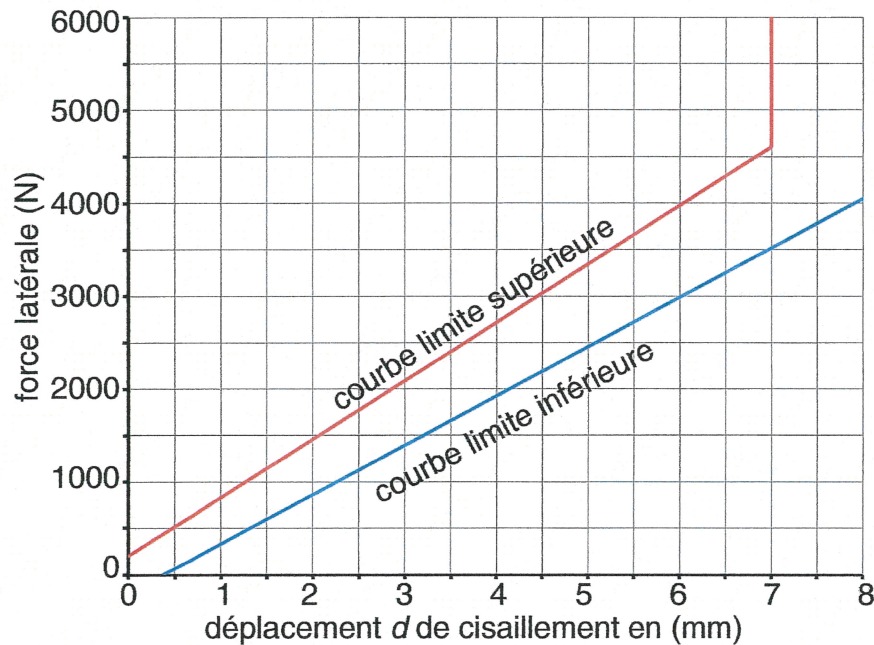


Document technique DT2

COURBES DE COMPORTEMENT DU GENOU EN CISAILLEMENT ET EN FLEXION

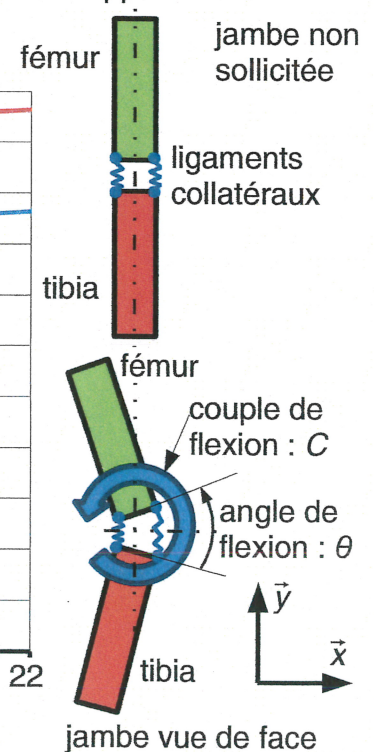
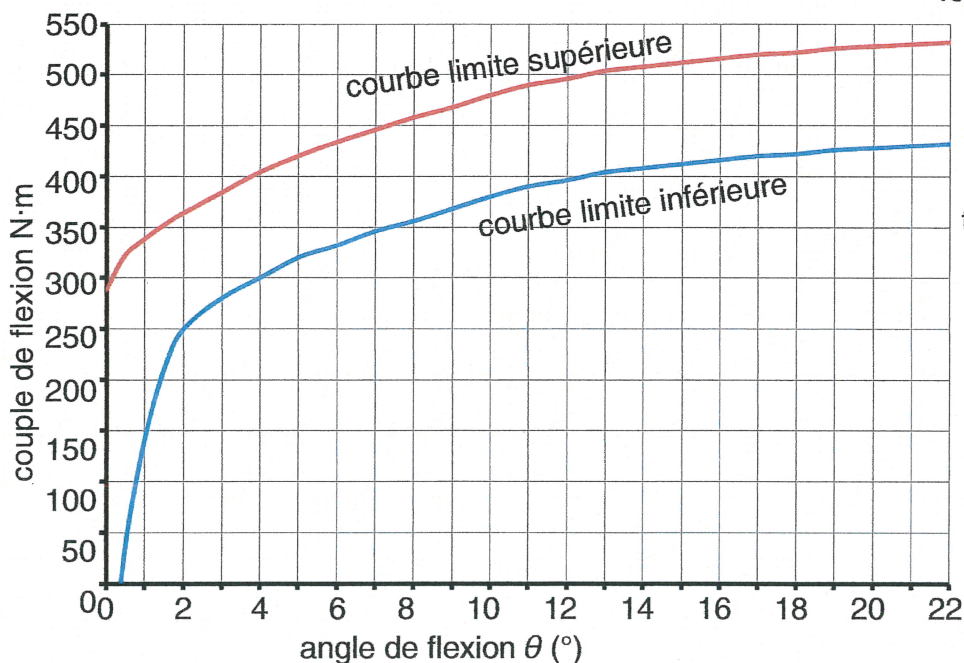
Phénomène de cisaillement du genou

L'application d'une force latérale sur le genou va créer un mouvement de translation du tibia par rapport au fémur, appelé **cisaillement**, auquel les ligaments croisés vont opposer une résistance.



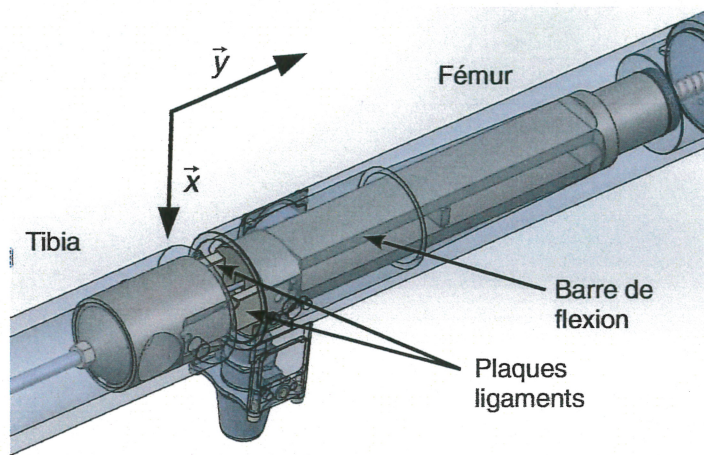
Phénomène de flexion du genou

L'application d'un couple au niveau du genou va créer une rotation du fémur par rapport au tibia, appelée **flexion**, à laquelle les ligaments externe et interne vont opposer une résistance.



Document technique DT3

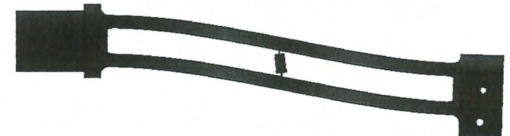
Principe de mesure des déplacements



Les deux plaques représentant les ligaments plient au niveau des entailles.

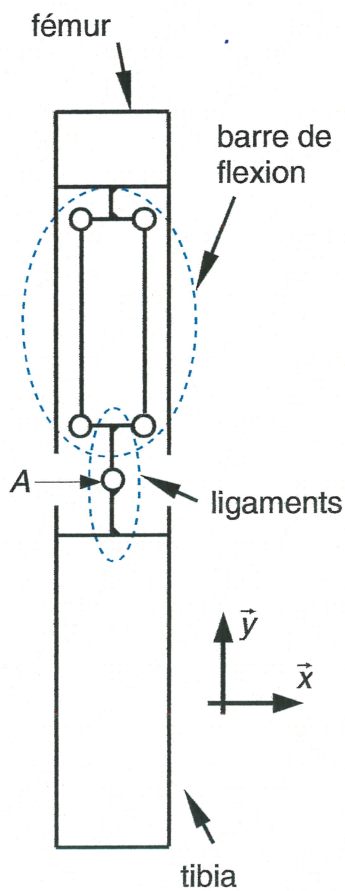


La barre de flexion se comporte comme un parallélogramme déformable.

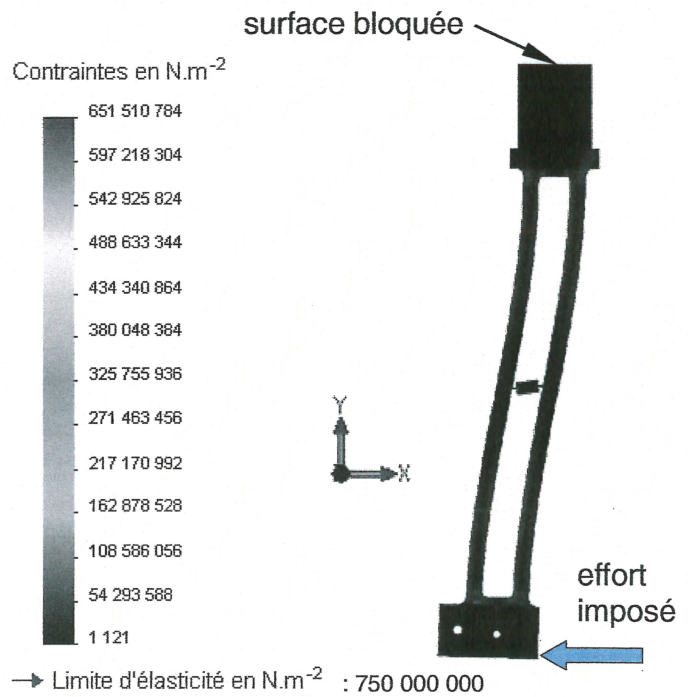


Détail de l'impacteur au niveau du « genou »

Architecture de l'impacteur



Résultats de simulation du comportement en cisaillement de la barre de flexion

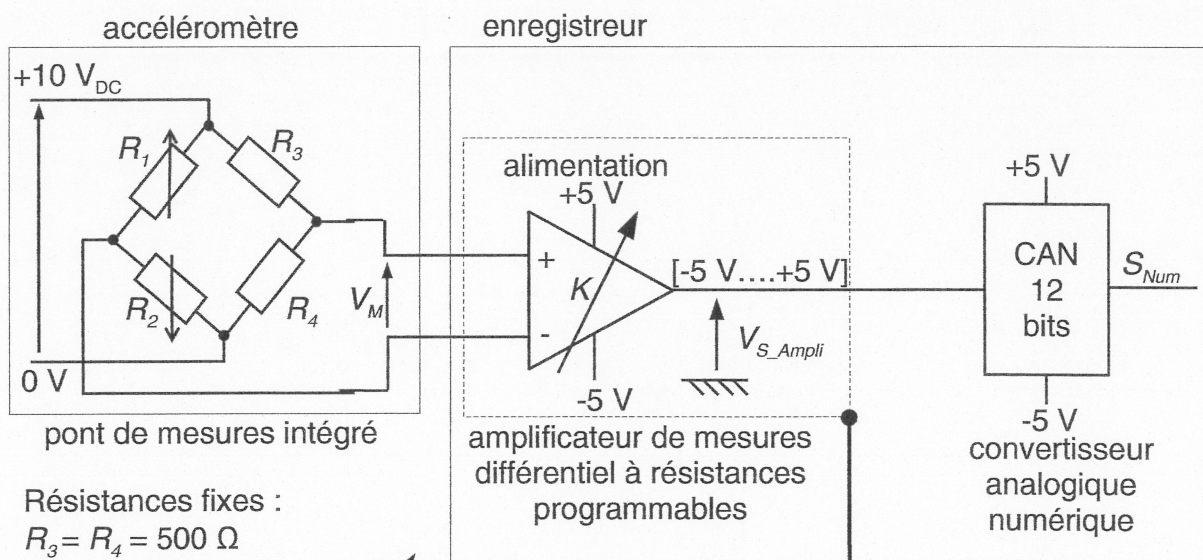
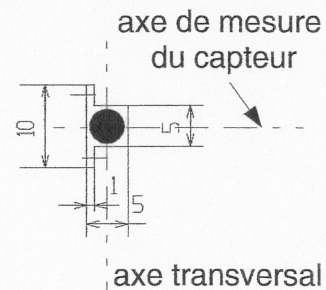


Déplacements relevés au point A.

effort (N)	0	6000
déplacement suivant x (mm)	0	-9,67
déplacement suivant y (mm)	0	0,304

Document technique DT4

Caractéristiques de l'accéléromètre 7264C-500 avec pont de mesure intégré



Résistances fixes :

$$R_3 = R_4 = 500 \Omega$$

Résistances variables :

R_1 : jauge de déformation en traction

R_2 : jauge de déformation en compression

$$R = R_0 \pm \Delta R$$

Fonction de transfert : $V_{S_ampli} = K \cdot V_M$

K : gain programmable de 1 à 10 000

résolution du gain :

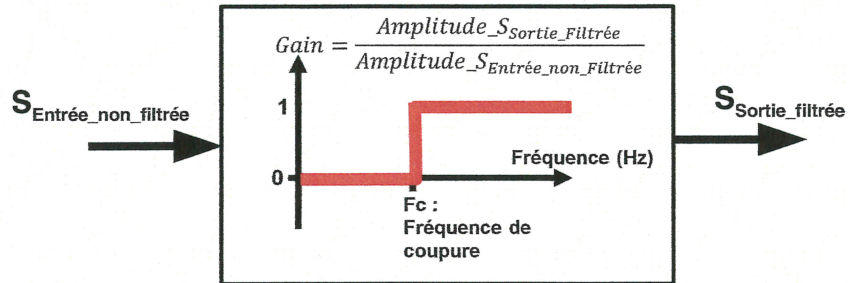
0,1 de 1 à 9,9

1,0 de 10 à 10 000

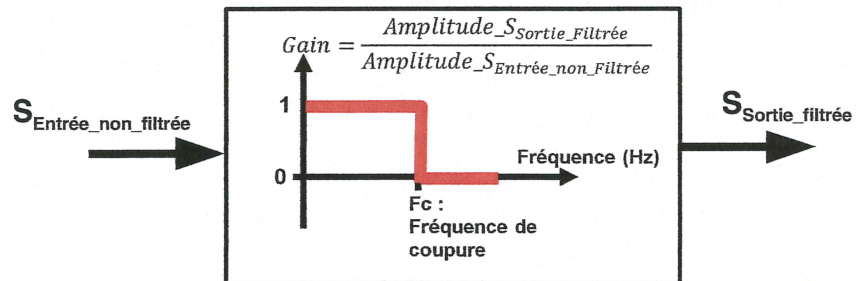
Données techniques de l'accéléromètre	
alimentation	10 Vdc
plage	$\pm 500 g$
sensibilité axiale	$0,8 \text{ mV} \cdot g^{-1}$
fréquence de résonance	17 kHz
sensibilité transversale max (perpendiculaire à l'axe axial)	3 % de la sensibilité axiale
décalage maximal à zéro g	$\pm 25 \text{ mV}$ (nécessite une correction d'offset)

Document technique DT5

PROPOSITION DE TYPE DE FILTRES

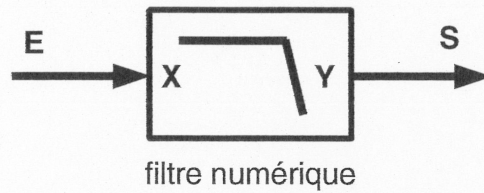


Filtre passe haut idéal



Filtre passe bas idéal

Document technique DT6



Équation du filtre numérique sous la forme d'une suite récurrente

$$S_N = b_0 \times E_N + b_1 \times E_{N-1} + b_2 \times E_{N-2} + b_3 \times E_{N-3} + b_4 \times E_{N-4} - a_1 \times S_{N-1} - a_2 \times S_{N-2} - a_3 \times S_{N-3} - a_4 \times S_{N-4}$$

L'indice N représente le N^{e} instant d'échantillonnage ($t_N = N \times T_{ech}$, T_{ech} étant la période d'échantillonnage du signal = 0,1 ms)

$E_N = N^{\text{e}}$ valeur à l'entrée du filtre ; E_{N-1} = valeur à l'entrée à la période précédente...
 $S_N = N^{\text{e}}$ valeur à la sortie du filtre ; S_{N-1} = valeur de la sortie à la période précédente...

Présentation de l'évolution des variables du filtre dans le temps

Temps t_N	entrée E_N	sortie S_N
t_0	E_0	$S_0 = 0$
t_1	E_1	$S_1 = 0$
t_2	E_2	$S_2 = 0$
t_3	E_3	$S_3 = 0$
t_4	E_4	S_4
t_5	E_5	S_5
t_6	E_6	S_6
etc.	etc.	etc.

↓ calcul suivant la fonction du filtre numérique

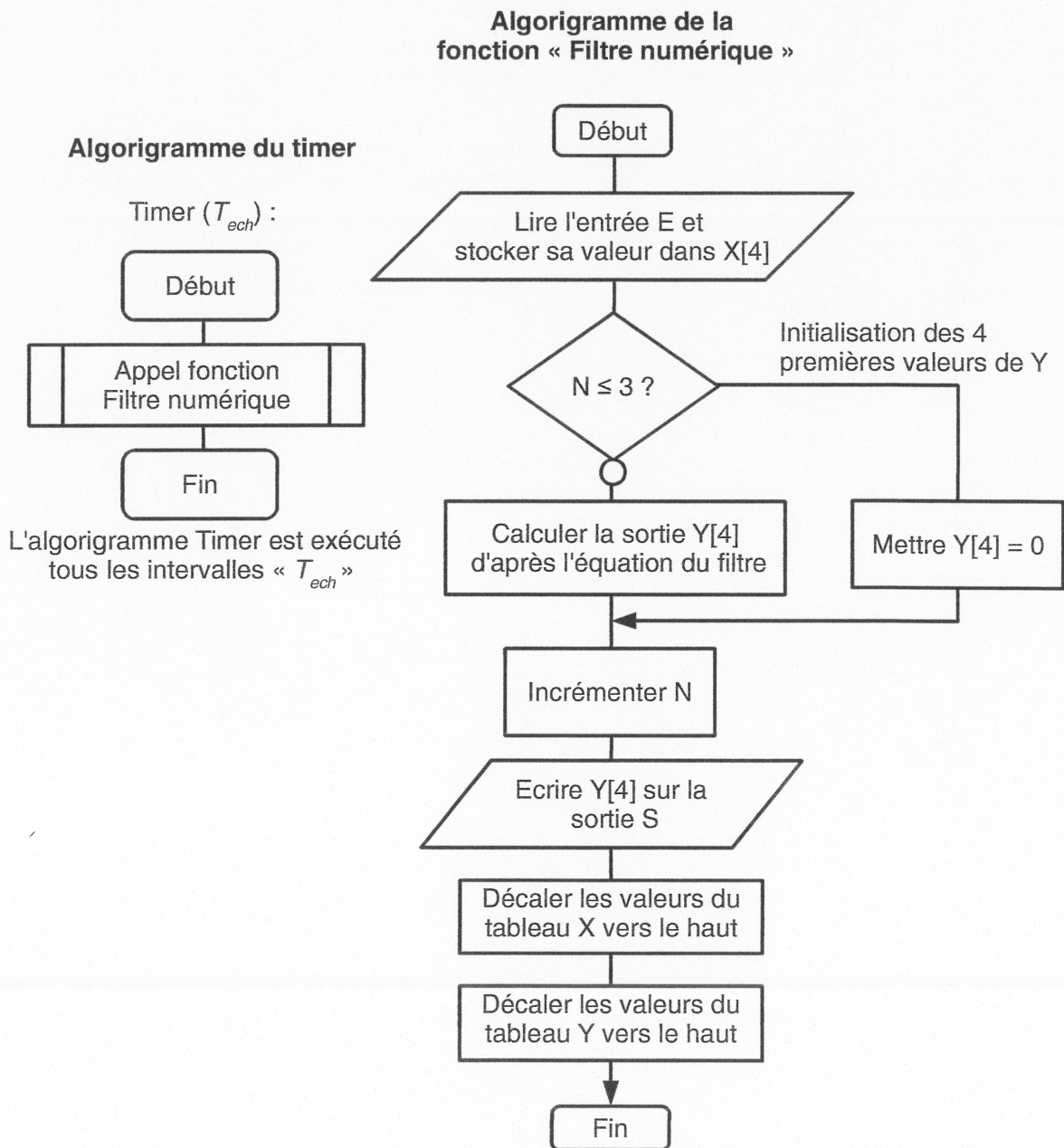
Structure des variables utilisées dans l'algorithme

coefficients B tableau de 5 valeurs		coefficient A tableau de 5 valeurs		échantillons X tableau de 5 valeurs		échantillons Y tableau de 5 valeurs	
b_0	B[0]	a_0	A[0]	E_{N-4}	X[0]	S_{N-4}	Y[0]
b_1	B[1]	a_1	A[1]	E_{N-3}	X[1]	S_{N-3}	Y[1]
b_2	B[2]	a_2	A[2]	E_{N-2}	X[2]	S_{N-2}	Y[2]
b_3	B[3]	a_3	A[3]	E_{N-1}	X[3]	S_{N-1}	Y[3]
b_4	B[4]	a_4	A[4]	E_N	X[4]	S_N	Y[4]

Document technique DT7

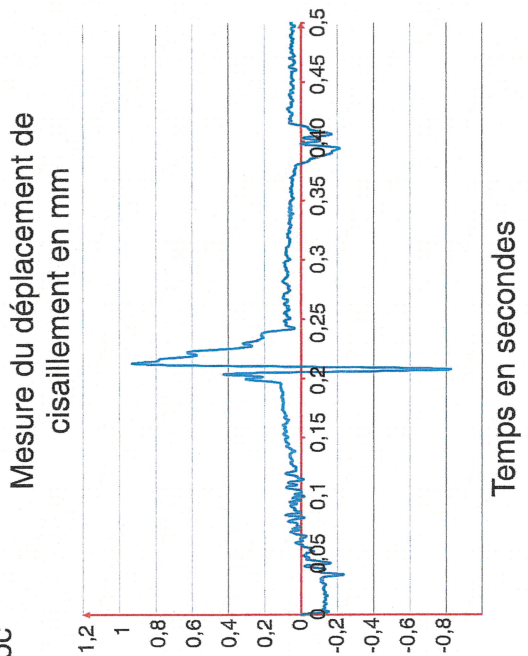
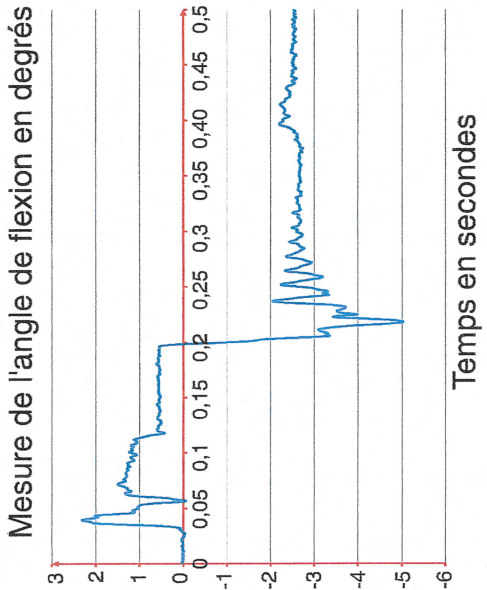
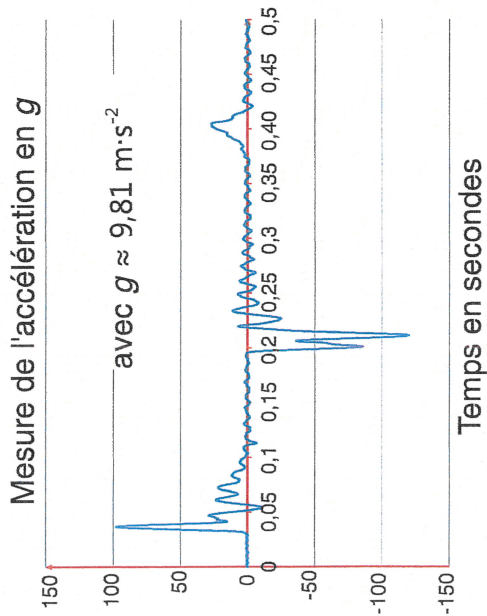
ALGORIGRAMME DU FILTRE NUMÉRIQUE

Lors de la phase d'initialisation, "N" est déclaré comme un entier de valeur 0.

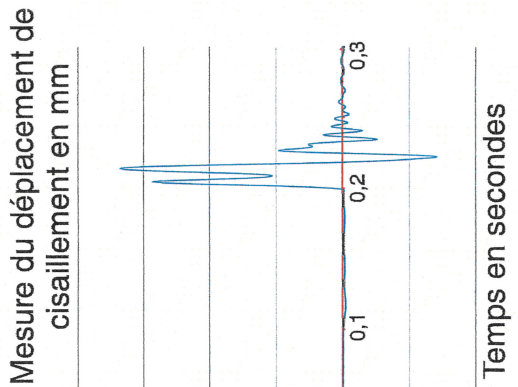
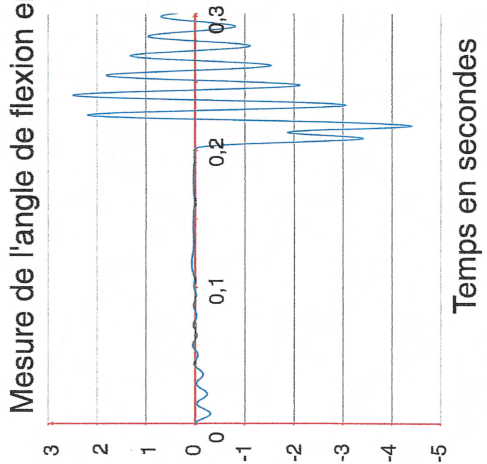
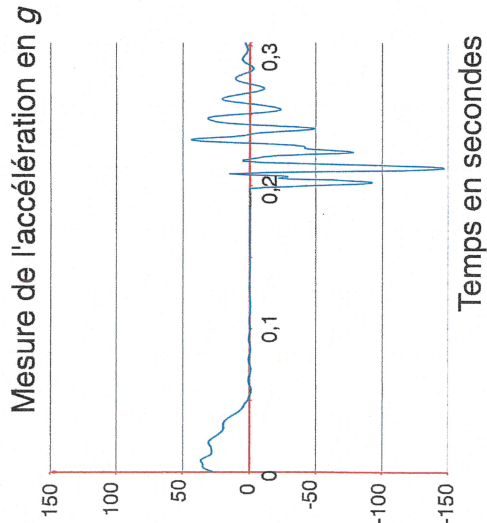


Document technique DT8.

Relevés de mesures filtrées d'un essai de choc



Courbes de l'essai simulé



Document réponse DR1

ALGORITHME DU FILTRE NUMÉRIQUE

// Début algorithme filtre:

X[4]=LireValNum(E) //la fonction LireValNum() permet d'acquérir la valeur numérique d'une entrée

SI N ≤ 3 ALORS

Cadre 1

.....

SINON.....

.....

.....

.....

.....

À compléter

Fin SI

N = N+1

EcrireValNum(Y[4],S) //la fonction EcrireValNum() permet d'écrire une valeur numérique sur la sortie S

X[0]=X[1]
 X[1]=X[2]
 X[2]=X[3]
 X[3]=X[4]

Y[0]=Y[1]
 Y[1]=Y[2]
 Y[2]=Y[3]
 Y[3]=Y[4]

Cadre 2

Pour i = 0 à.....par pas de 1

.....

.....

Fin Pour

À compléter

// Fin algorithme filtre