

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
Faculté de génie  
Département de génie robotique

## **RAPPORT D'APP**

Mathématiques des systèmes et des signaux continus  
S4 – APP4 – GRO410

Présenté à  
Abdelaziz Ramzi

Présenté par  
Équipe numéro 25  
Guillaume Béland belg2217  
Samuel Hamelin hams1504

Sherbrooke - 25 février 2025

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Schéma bloc du haut-parleur</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Fonctions de transfert</b>	<b>3</b>
3.1	Sous-système Électrique	3
3.2	Sous-système Mécanique	4
3.3	Système global	4
<b>4.</b>	<b>Diagrammes de Bode</b>	<b>5</b>
<b>5.</b>	<b>Réponse au signal PWM</b>	<b>6</b>
<b>6.</b>	<b>Réponse impulsionnelle</b>	<b>7</b>
<b>7.</b>	<b>Modèle Simulink</b>	<b>8</b>
7.1	Signal PWM	9
7.1.1	Courant	9
7.1.2	Réponse	10
7.2	Impulsion	11
7.2.1	Courant	11
7.2.2	Réponse	12
<b>8.</b>	<b>Sélection du Haut-parleur</b>	<b>13</b>
<b>9.</b>	<b>Conclusion</b>	<b>13</b>

## LISTE DES FIGURES

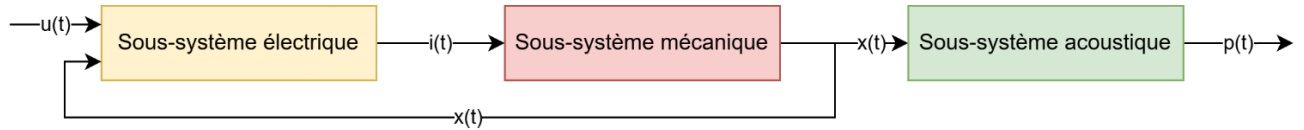
Figure 1:Diagramme de Bode du Haut-parleur 1	5
Figure 2:Diagramme de Bode pour le Haut-parleur 2	5
Figure 3:Réponse PWM du Haut-parleur 1	6
Figure 4:Réponse PWN du Haut-parleur 2	6
Figure 5: Réponse impulsionnelle du Haut-parleur 1	7
Figure 6:Réponse impulsionnelle du Haut-parleur 2	7
Figure 7:Courant PWM pour le Haut-parleur 1	9
Figure 8:Courant PWM pour le Haut-parleur 2	9
Figure 9:Réponse PWM pour le Haut-parleur 1	10
Figure 10:Réponse PWM pour le Haut-parleur 2	10
Figure 11: Courant Impulsionnel pour le Haut-parleur 1	11
Figure 12:Courant impulsionnel pour le Haut-parleur 2	11
Figure 13:Réponse impulsionnelle pour le Haut-parleur 1	12
Figure 14:Réponse impulsionnelle pour le Haut-parleur 2	12

# 1. INTRODUCTION

Dans le cadre du développement de la dernière génération de jouets robots Aibo chez Sony, une interface audio simplifiée doit être intégrée pour générer des sons percussifs (aboiements) et continus (grognements). La plateforme utilisée, basée sur un Arduino MEGA, ne disposant pas de sortie analogique, impose l'utilisation d'une sortie numérique générant un signal de tension électrique  $u(t)$  sous forme d'une modulation de largeur d'impulsion (PWM).

L'objectif de cette étude est de sélectionner un haut-parleur électrodynamique parmi deux modèles disponibles (Fostex FE208EΣ et SEAS Exotic F8 - X1-04) en fonction de leurs caractéristiques électriques et performances acoustiques. Le choix du haut-parleur doit être fait en assurant que le courant  $i(t)$  ne dépasse pas 50 mA pour protéger l'électronique, tout en maximisant la pression acoustique  $p(t)$  produite.

## 2. SCHÉMA BLOC DU HAUT-PARLEUR



## 3. FONCTIONS DE TRANSFERT

### 3.1 SOUS-SYSTÈME ÉLECTRIQUE

$$L_e \frac{di}{dt} + (R_e + R_S)i(t) = u(t) - Bl \frac{dx}{dt}$$

$$L_e s * I(s) + (R_e + R_S)I(s) = U(s) - Bls * X(s)$$

$$(L_e s + (R_e + R_S))I(s) = U(s) - Bls * X(s)$$

$$(L_e s + (R_e + R_S)) = \frac{U(s)}{I(s)} - Bls * \frac{X(s)}{I(s)}$$

$$(L_e s + (R_e + R_S)) = \frac{U(s)}{I(s)} - Bls * H_m(s)$$

$$\frac{U(s)}{I(s)} = L_e s + (R_e + R_S) + Bls * H_m(s)$$

$$H_e(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{(L_e + Bl * H_m(s))s + (R_e + R_S)}$$

### 3.2 SOUS-SYSTÈME MÉCANIQUE

$$M_m \frac{d^2 x}{dt^2} + R_m \frac{dx}{dt} + k_m x(t) = Bl i(t)$$

$$M_m s^2 X(s) + R_m s X(s) + k_m X(s) = Bl I(s)$$

$$(M_m s^2 + R_m s + k_m) X(s) = Bl I(s)$$

$$H_m(s) = \frac{X(s)}{I(s)} = \frac{Bl}{M_m s^2 + R_m s + k_m}$$

### 3.3 SYSTÈME GLOBAL

$$p(t) = \frac{\rho S_m}{2\pi d} \left( \frac{d^2 x}{dt^2} \right) * \left( \delta \left( t - \frac{d}{c} \right) \right)$$

$$P(s) = \frac{\rho S_m}{2\pi d} s^2 X(s) e^{-\frac{d}{c}s}$$

$$\frac{P(s)}{X(s)} = \frac{\rho S_m}{2\pi d} s^2 e^{-\frac{d}{c}s}$$

$$H_a(s) = \frac{P(s)}{U(s)} = \frac{P(s)}{X(s)} * \frac{X(s)}{I(s)} * \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{P(s)}{X(s)} * H_m(s) * H_e(s)$$

## 4. DIAGRAMMES DE BODE

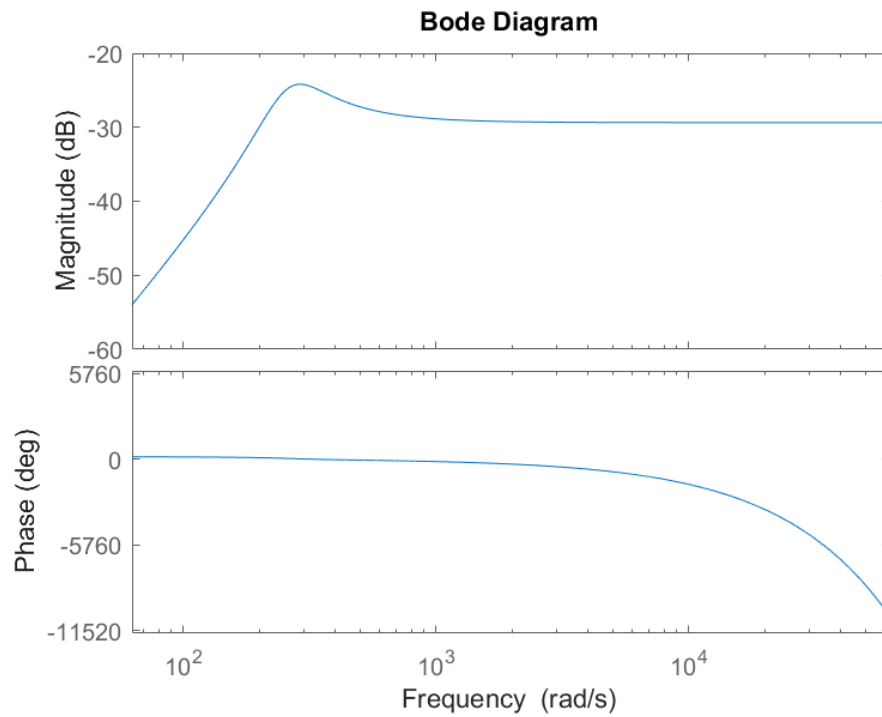


Figure 1: Diagramme de Bode du Haut-parleur 1

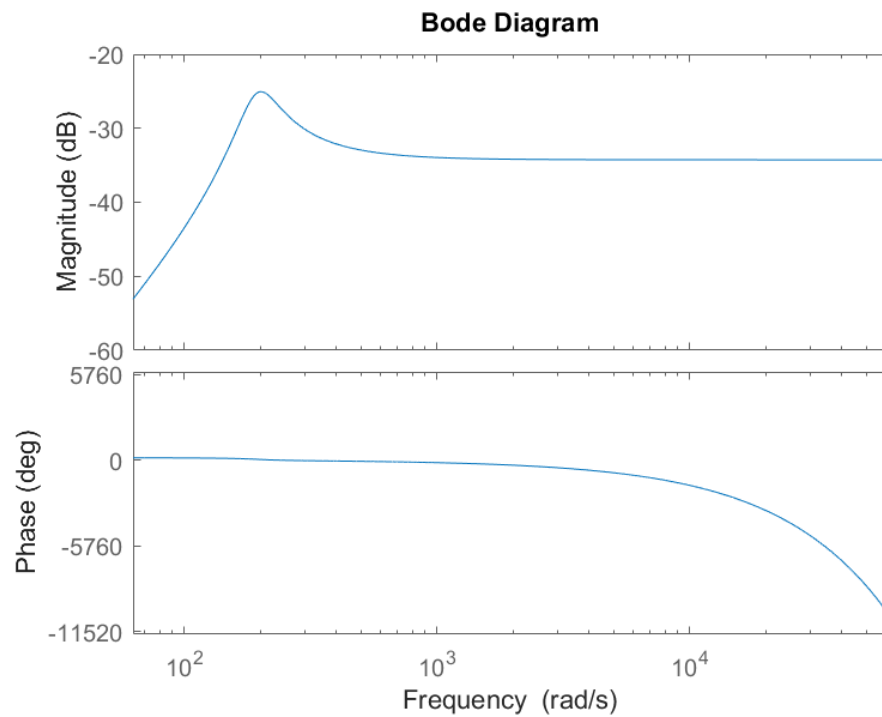
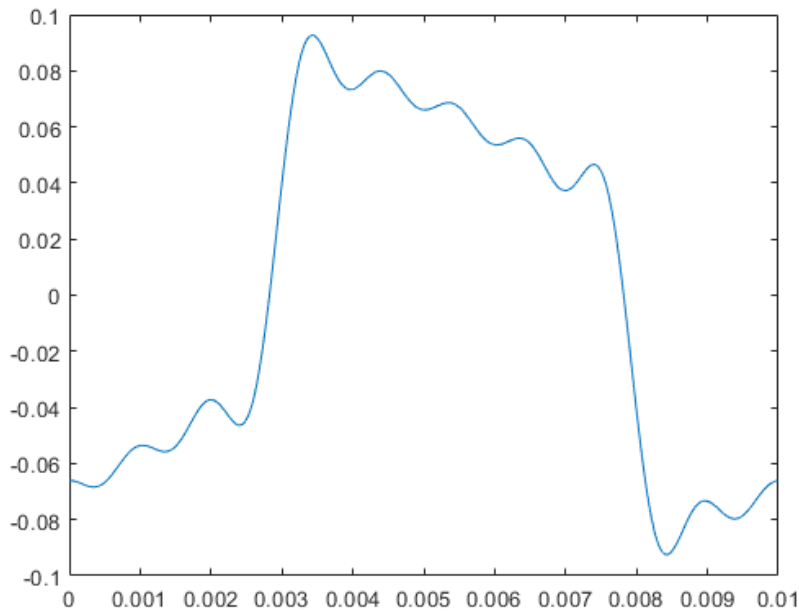


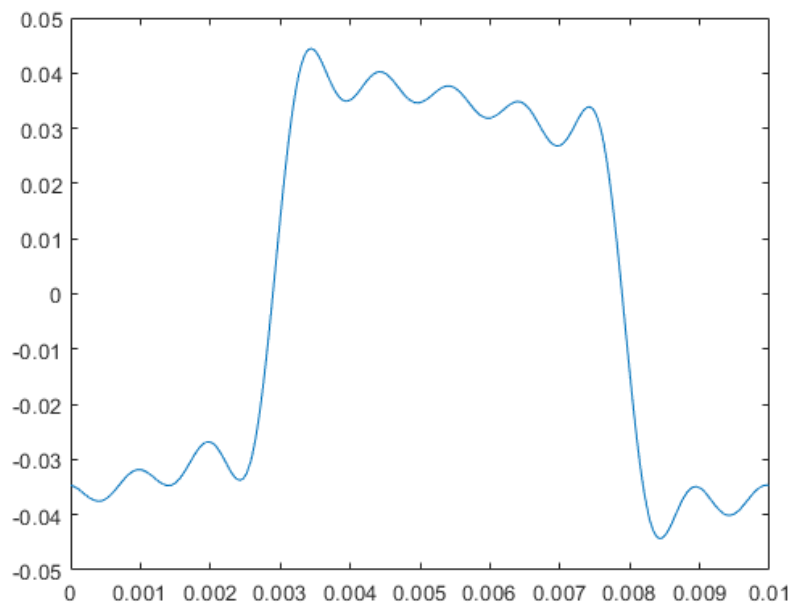
Figure 2: Diagramme de Bode pour le Haut-parleur 2

## 5. RÉPONSE AU SIGNAL PWM

La réponse au signal PWM a pu être caractérisée en faisant une décomposition du signal en série de Fourier avec ses 10 premières harmoniques. Ensuite, nous avons pu, grâce aux amplitudes et phases des harmoniques, les associer aux fonctions de transfert pour obtenir la réponse acoustique pour le système en régime continu.



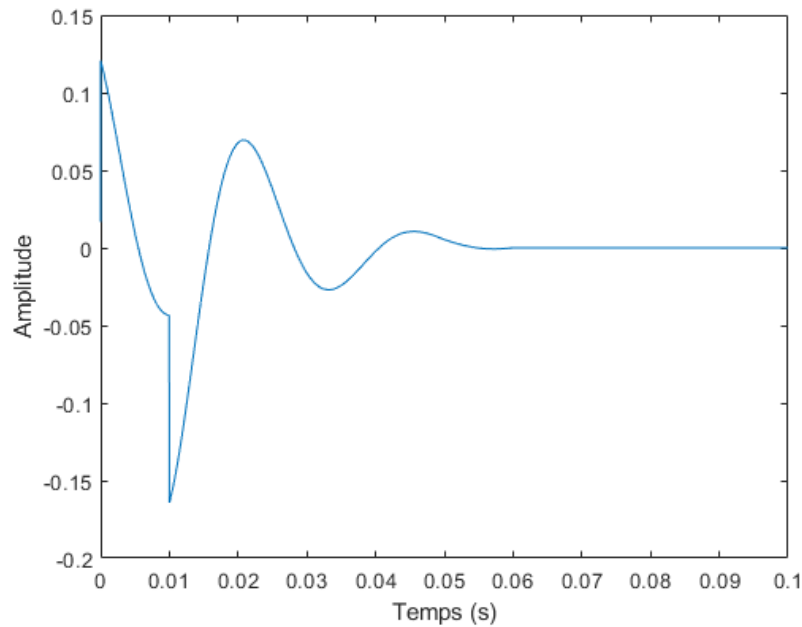
**Figure 3: Réponse PWM du Haut-parleur 1**



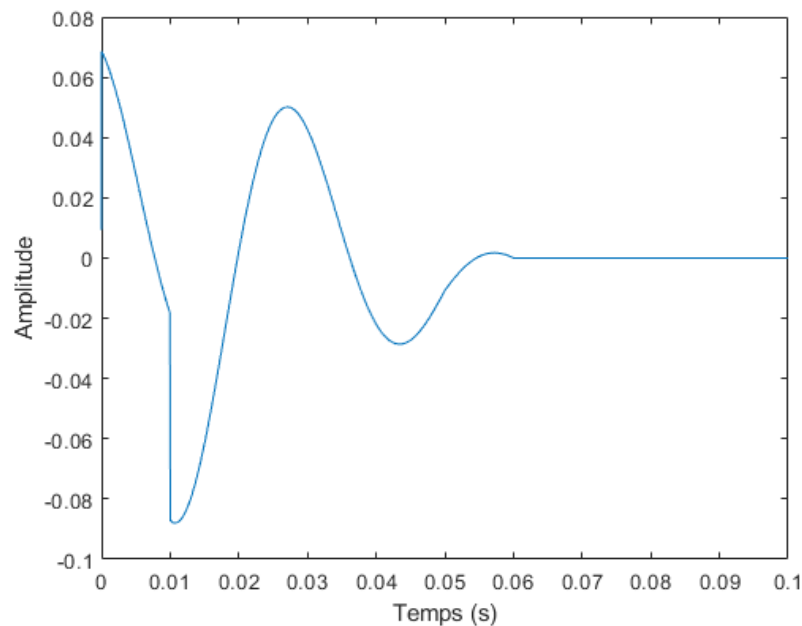
**Figure 4: Réponse PWM du Haut-parleur 2**

## 6. RÉPONSE IMPULSIONNELLE

La réponse impulsionnelle a pu être obtenue en décomposant en fractions rationnelles la fonction de transfert électro-acoustique. Une transformation de Laplace inverse a ensuite été appliquée pour obtenir la réponse impulsionnelle du système global. Il ne restait qu'à appliquer une convolution de cette réponse avec notre signal impulsionnel pour obtenir numériquement la réponse au signal percussif.



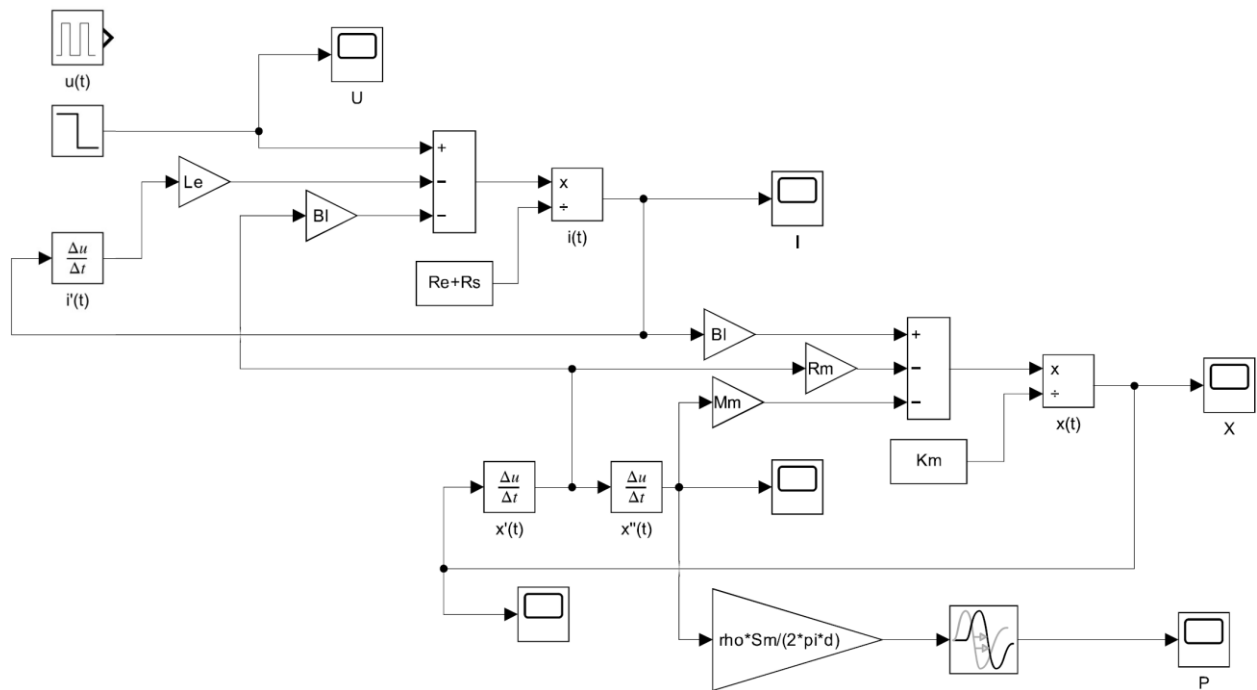
**Figure 5: Réponse impulsionnelle du Haut-parleur 1**



**Figure 6: Réponse impulsionnelle du Haut-parleur 2**



Le système est simulé temporellement, pour valider les fonctions de transferts et l'entièreté du code Matlab. L'entrée peut être modifiée entre le PWM et l'impulsion de 10ms. La fonction de Dirac est décrite par le bloc Transport Delay, qui permet de décaler l'onde de d/c secondes pour prendre en compte la vitesse du son et la distance entre le haut-parleur et l'auditeur.



## 7.1 SIGNAL PWM

### 7.1.1 COURANT

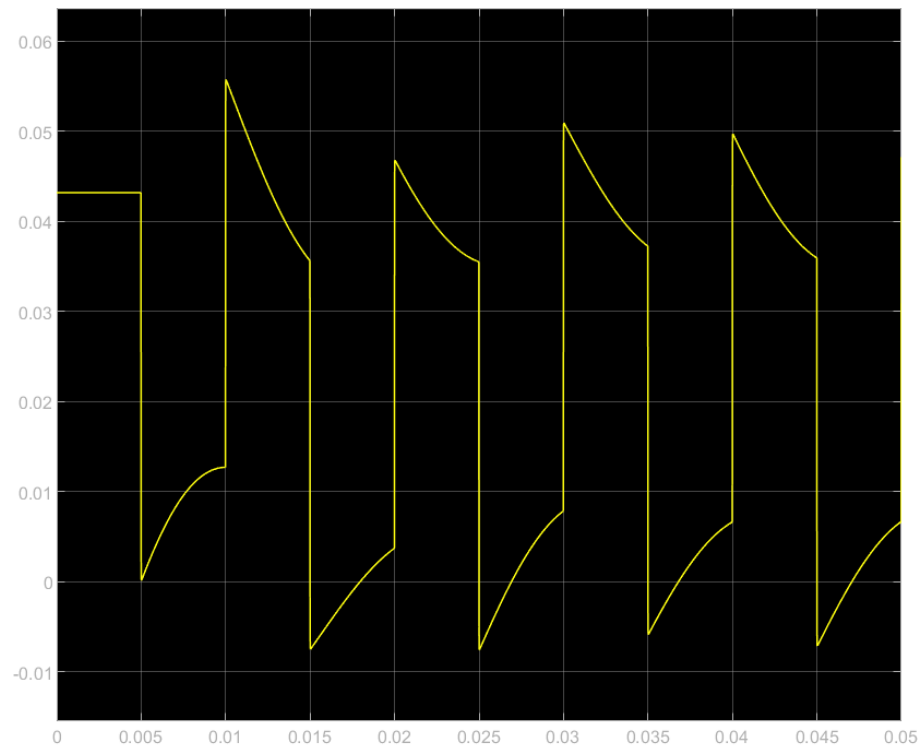


Figure 7: Courant PWM pour le Haut-parleur 1

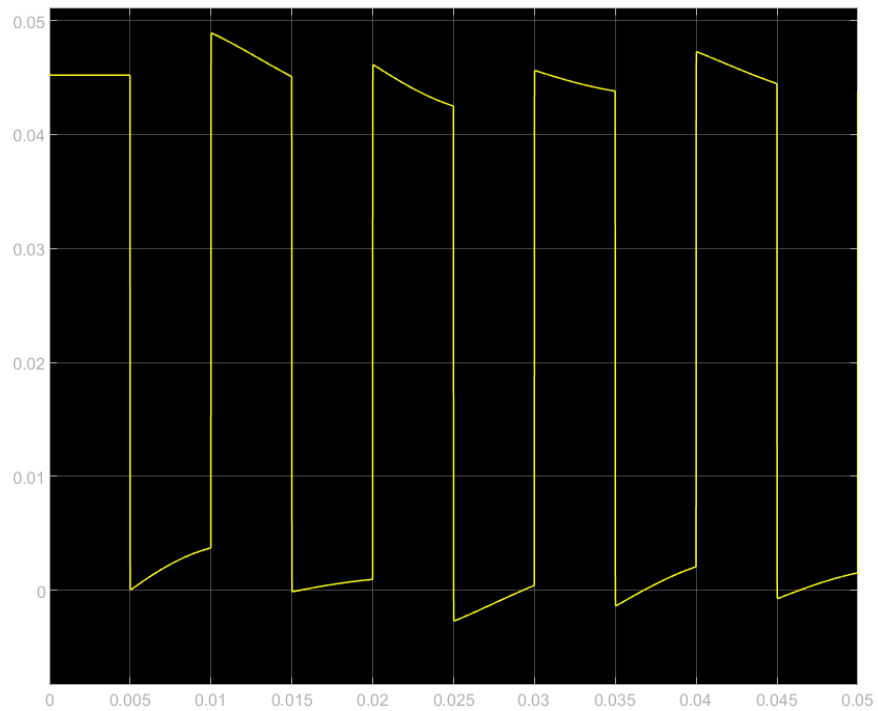


Figure 8: Courant PWM pour le Haut-parleur 2

## 7.1.2 RÉPONSE

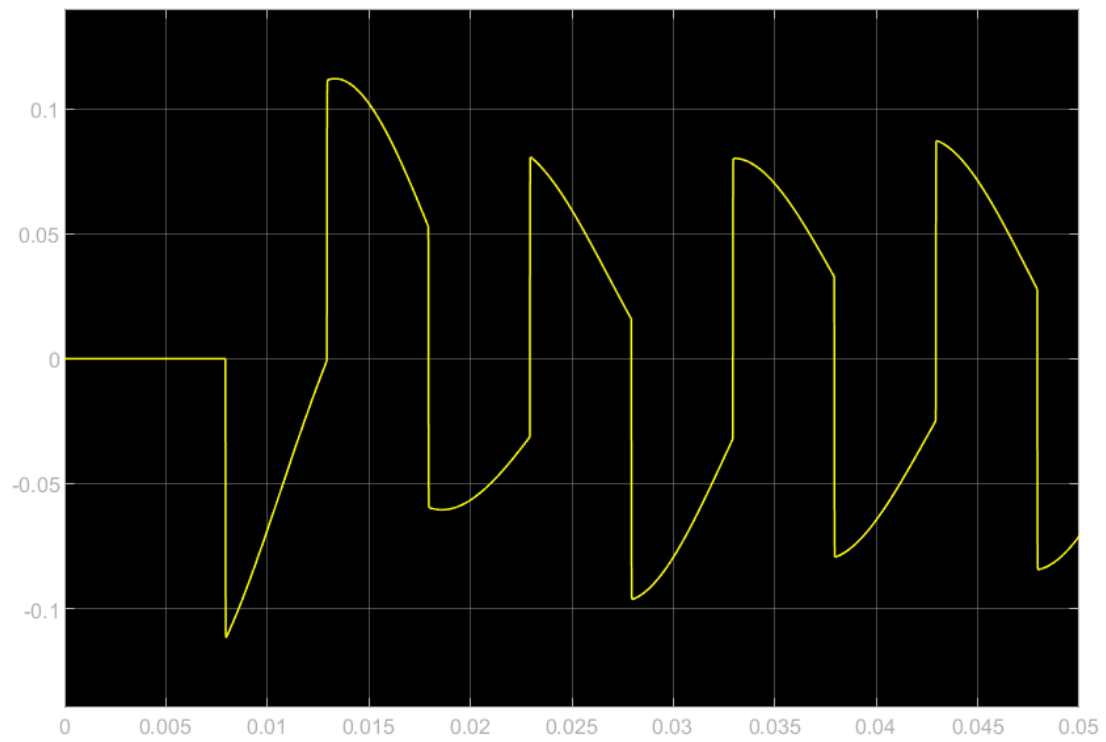


Figure 9: Réponse PWM pour le Haut-parleur 1

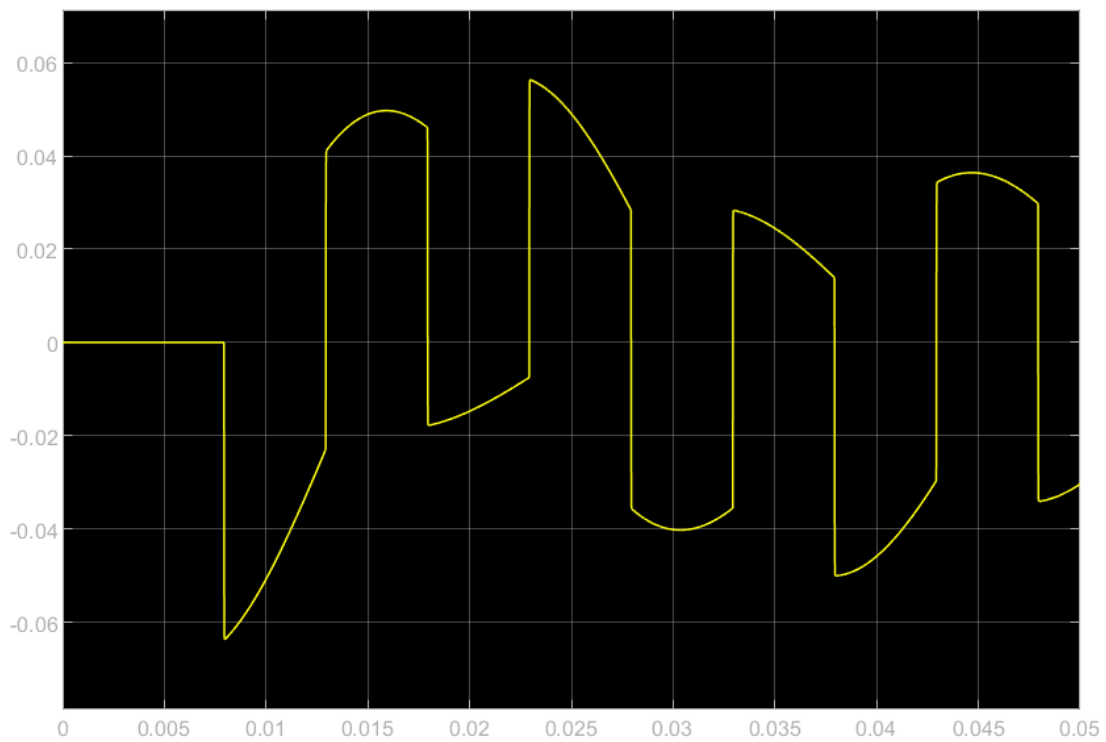
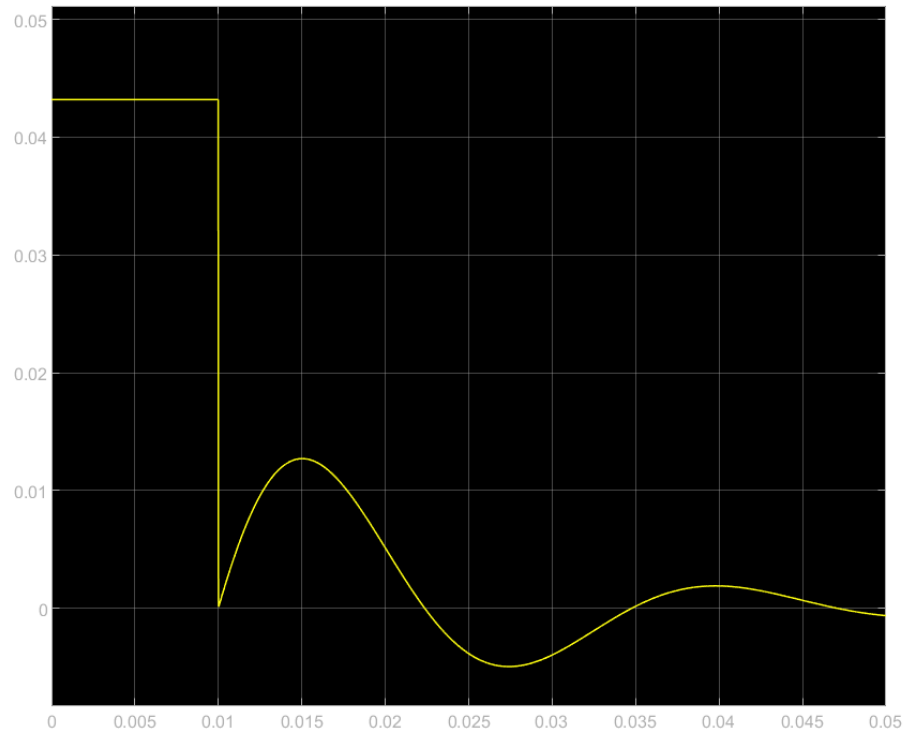


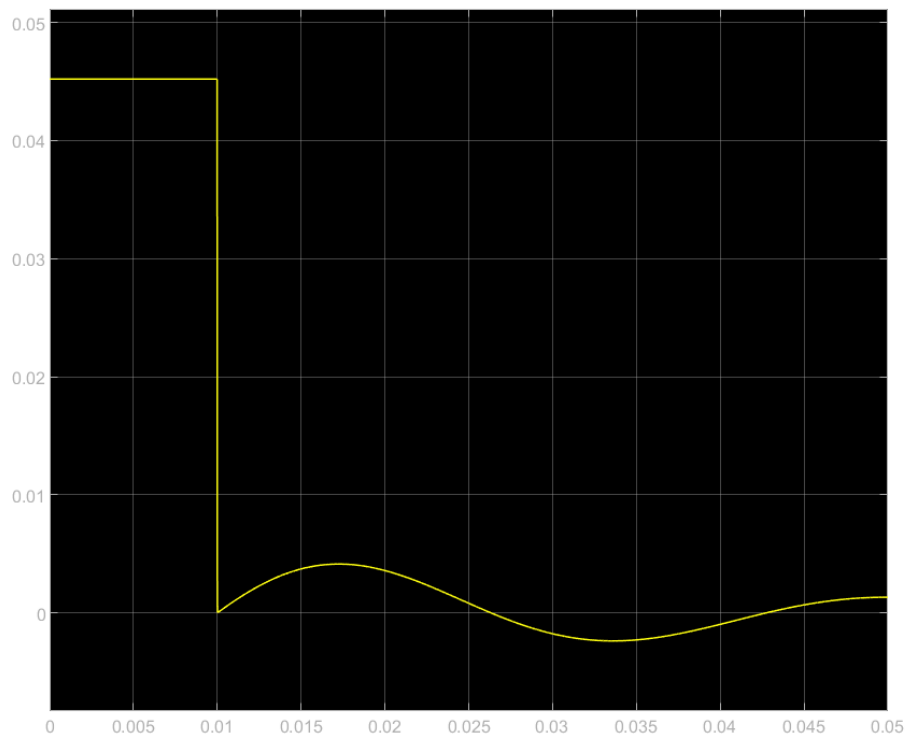
Figure 10: Réponse PWM pour le Haut-parleur 2

## 7.2 IMPULSION

### 7.2.1 COURANT

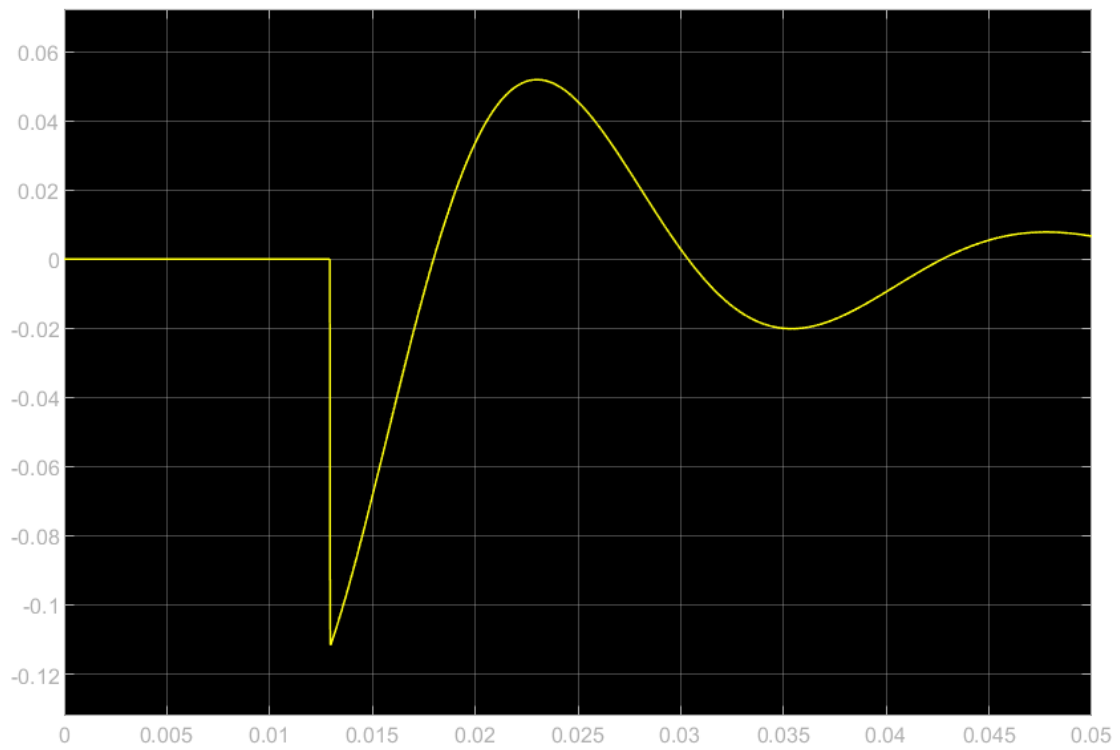


**Figure 11: Courant Impulsionnel pour le Haut-parleur 1**

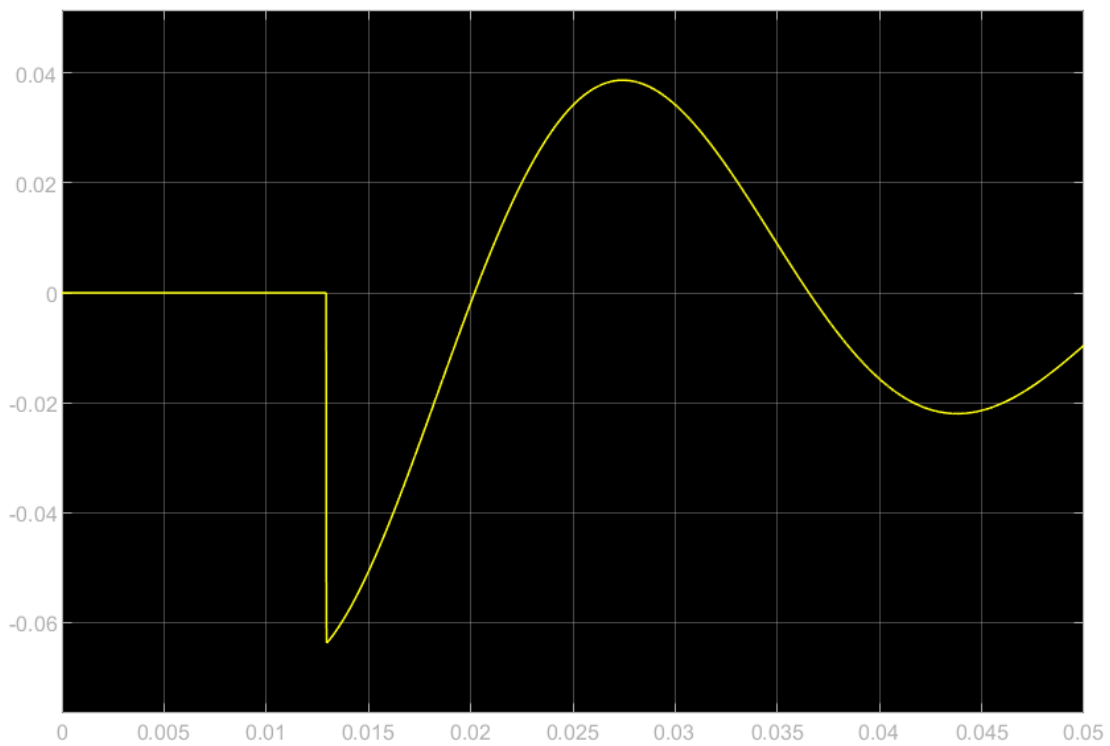


**Figure 12: Courant impulsionnel pour le Haut-parleur 2**

### 7.2.2 RÉPONSE



**Figure 13: Réponse impulsionnelle pour le Haut-parleur 1**



**Figure 14: Réponse impulsionnelle pour le Haut-parleur 2**

## 8. SÉLECTION DU HAUT-PARLEUR

Le haut-parleur 1 dépasse la limite de 50mA de très peu pendant son régime transitoire avec une entrée PWM. Cependant, cela ne le disqualifie pas, car l'intervalle de temps est extrêmement court, assurant l'intégrité du système. De plus, le dépassement du seuil limite de courant se passe dans le régime transitoire et n'est plus présente lors du régime permanent.

Il ne reste qu'alors à analyser les réponses en pression des haut-parleurs. Il est évident que le haut-parleur 1 a la plus grande amplitude dans tous les cas, ce qui fait de lui un candidat de choix pour notre application.

## 9. CONCLUSION

L'étude du système électroacoustique du robot Aibo a permis d'analyser la réponse des deux haut-parleurs en termes de consommation électrique et de pression acoustique. En modélisant le comportement du système avec les équations électriques, mécaniques et acoustiques, la dynamique du signal de sortie a pu être caractérisé en fonction de l'entrée PWM et impulsionnelle.

Grâce aux analyses en fréquence et en temps, ainsi qu'à l'évaluation des harmoniques du signal PWM, nous avons pu confirmer que le Fostex FE208EΣ offre la meilleure performance globale pour générer les sons percussifs et continus nécessaires au bon fonctionnement du système. Ce choix garantit ainsi une reproduction sonore plus efficace tout en respectant les contraintes électriques et mécaniques imposées.