

Rapport de laboratoire

GPA 745 - Introduction à l'avionique

Laboratoire #2 : ADC (Air Data Computer)

Auteurs : RAFIK CHENNOUF – CLEMENT BLANQUET

Montréal, le 29 SEPTEMBRE 2017

École de technologie supérieure

**Introduction**

Le but de ce deuxième laboratoire est d’étudier le fonctionnement de l’ordinateur des données de l’air qui renvoie les caractéristiques de l’air à une hauteur donnée, c’est-à-dire la température, la vitesse du son, la pression et la densité. Le logiciel de calcul numérique Matlab et son outil Simulink seront utilisés tout au long du laboratoire.

Tout d’abord, nous commencerons par calculer et représenter graphiquement sur Matlab les paramètres de l’atmosphère standard en utilisant les données de l’air correspondant au **groupe 2 et 9** puis nous ferons une simulation de l’ordinateur des données de l’air via Simulink.

Table des matières

[Table des figures 3](#_Toc494970262)

[Questions 4](#_Toc494970263)

[Question 1 4](#_Toc494970264)

[Question 2 6](#_Toc494970265)

[Question 3 10](#_Toc494970266)

[Conclusion 15](#_Toc494970267)

[ANNEXE – Code Matlab 16](#_Toc494970268)

## Table des figures

[Figure 1 : Caractéristiques de l'atmosphère standard 5](#_Toc494970067)

[Figure 2 : Courbe du nombre de Mach en fonction du rapport Pt/Ps 7](#_Toc494970068)

[Figure 3 : Courbe de la vitesse Vc en fonction de Pt-Ps 8](#_Toc494970069)

[Figure 4 : Courbe de la pression P en fonction de l’altitude H 9](#_Toc494970070)

[Figure 5 - Modèle Simulink complet de l'ADC 11](#_Toc494970071)

[Figure 6 - Le bloc atmosphère 12](#_Toc494970072)

[Figure 7 - Le bloc pression dynamique 13](#_Toc494970073)

[Figure 8 - Le bloc ADC 14](#_Toc494970074)

## Questions

### Question 1

Nous avons généré un graphique pour chaque donnée de l’atmosphère, c’est-à-dire la température, la vitesse du son, la pression et la densité de l’air, le tout en fonction de l’altitude, pour des altitudes de 0 à 20 km. Pour cela, deux méthodes ont été utilisées.

Dans un premier temps, nous avons utilisé la fonction Matlab atmosisa qui nous renvoie directement les quatre caractéristiques de l’atmosphère standard en prenant en paramètre la plage de hauteur voulue. Dans un second temps, nous avons calculé ces caractéristiques via les formules proposées dans l’énoncé du laboratoire en faisant attention à modifier nos formules lorsque l’on passe de la troposphère à la stratosphère (cf code Matlab).

Les graphiques obtenus sont visibles à la page suivante. Nous avons ainsi pu comparer les résultats donnés par ces deux approches pour vérifier qu’ils étaient parfaitement identiques.



Figure 1 : Caractéristiques de l'atmosphère standard

### Question 2

Dans cette partie, on cherche à calculer, de la même façon que l’ADC, les valeurs d’altitude H, vitesse Vc et nombre de Mach M en ayant comme information (**groupe 2 et 9)** un vecteur de pressions totales (PTmes) et de pressions statiques (PSmes). Pour cela, nous avons eu recours à trois interpolations.

La première méthode consiste à tracer la courbe de M sur le rapport Pt/Ps puis d’interpoler les valeurs de PTmes/PSmes sur la courbe.

De la même manière, on calcule la vitesse calibrée en traçant la courbe de Vc en fonction de Pt – Ps.  
Enfin, on déduit l’altitude H en traçant la courbe de pression P en fonction de l’altitude H.

L’interpolation a été réalisée via la fonction interp1 de Matlab. Le principe de la méthode consiste simplement à comparer les valeurs mesurées par les capteurs aux valeurs calculées théoriquement afin d’en déduire les données recherchées. Pour exemple, la **Figure 2** à la page suivante nous donne les différentes valeurs de Mach en fonction des valeurs de pressions totales et de pressions statiques mesurées. Pour un rapport PTmes/PSmes égale à 2.7671, on obtient un Mach de 1.3121. Le même principe est appliqué pour la vitesse et l’altitude.



Figure 2 : Courbe du nombre de Mach en fonction du rapport Pt/Ps



Figure 3 : Courbe de la vitesse Vc en fonction de Pt-Ps



Figure 4 : Courbe de la pression P en fonction de l’altitude H

### Question 3

L’objectif de cette troisième question est de réaliser une simulation de l’ADC en utilisant Simulink. Ceci nous permet de nous familiariser avec cet outil et d’avoir une simulation en temps réel de l’atmosphère. Voici tout d’abord le schéma complet, qui sera détaillé par la suite (*Figure 5 - Modèle Simulink complet de l'ADC*) :

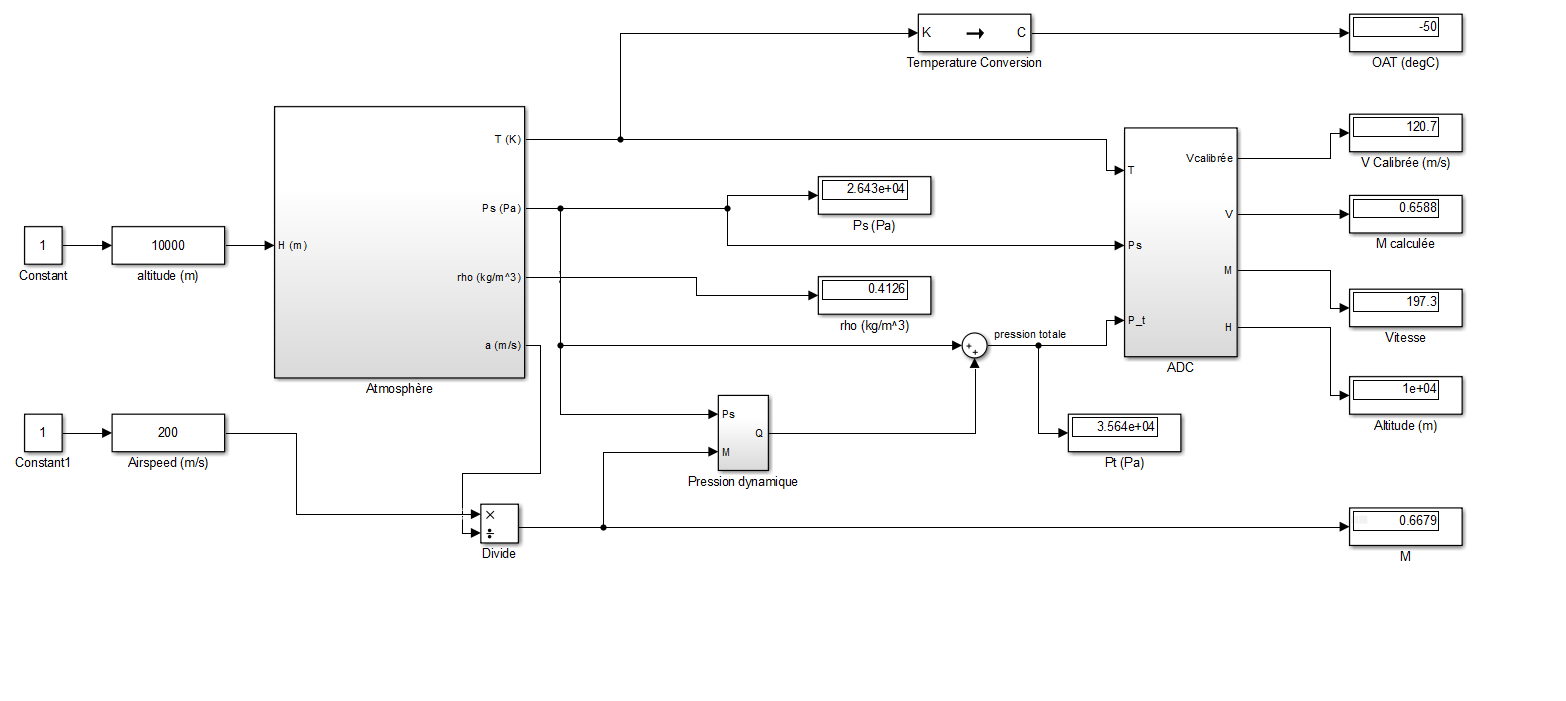


Figure 5 - Modèle Simulink complet de l'ADC

#### Le bloc atmosphère

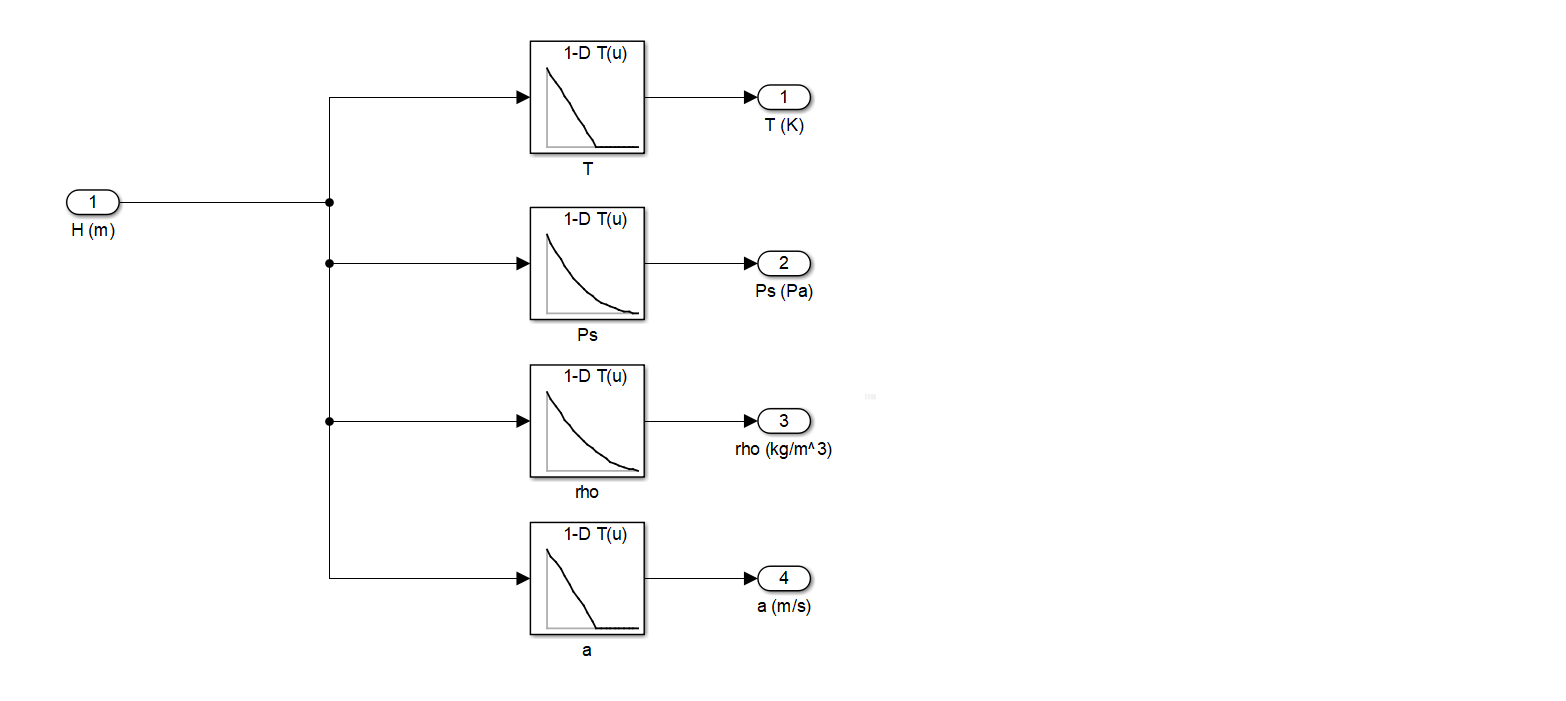


Figure 6 - Le bloc atmosphère

Pour réaliser le bloc atmosphère, on utilise les « *Look Up Tables* » de Simulink. En entrée (« *vector of input values* »), on a le vecteur d’altitudes H tandis qu’en « *table data* » on a respectivement les vecteurs de température, de pression, de masse volumique et de vitesse du son calculés lors de la question 1. Avec ces quatre blocs, on crée un sous-système avec la fonction « *create subsystem* » de Simulink. Les blocs « *Display* » permettent de voir les valeurs de Ps et ρ en temps réel dans le modèle Simulink complet (Figure 5).

En ce qui concerne la température, on utilise un bloc de conversion de Kelvin à °C avant d’afficher la valeur dans un bloc *Display*. De plus, la valeur de a n’est pas directement affichée mais est utilisée pour afficher le nombre de Mach en fonction de la vitesse vraie de l’avion. En effet, sachant que M = V/a, on utilise un bloc « *Divide* » entre V et a ce qui affiche la valeur de M dans un bloc *Display* (Figure 5).

#### Le bloc pression dynamique

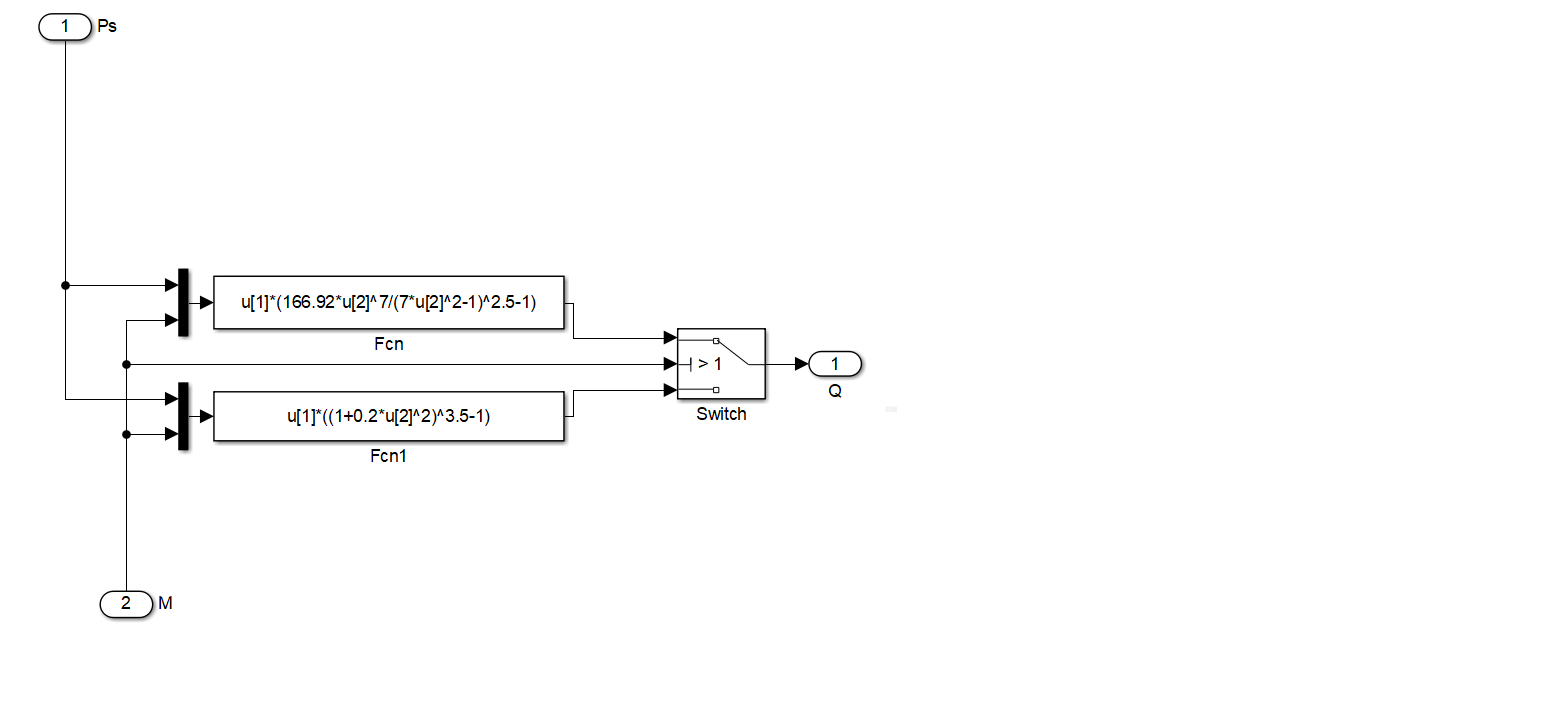


Figure 7 - Le bloc pression dynamique

En utilisant la pression statique Ps et le nombre de Mach M, on peut obtenir la pression dynamique avec deux fonctions mathématiques que l’on insère avec des blocs « *Fct* ». Des blocs « *Mux* » permettent de multiplier les entrées des fonctions et un bloc « *Switch* » est utilisé à la fin des fonctions ce qui permet d’obtenir en sortie la **pression dynamique**.

Sachant que , on utilise un bloc « *Sum* » entre cette valeur de Pt tout juste obtenue et la valeur de Ps obtenue dans le bloc atmosphère ce qui permet d’obtenir la pression totale et de l’afficher dans un bloc *Display* (Figure 5).

#### Le bloc ADC

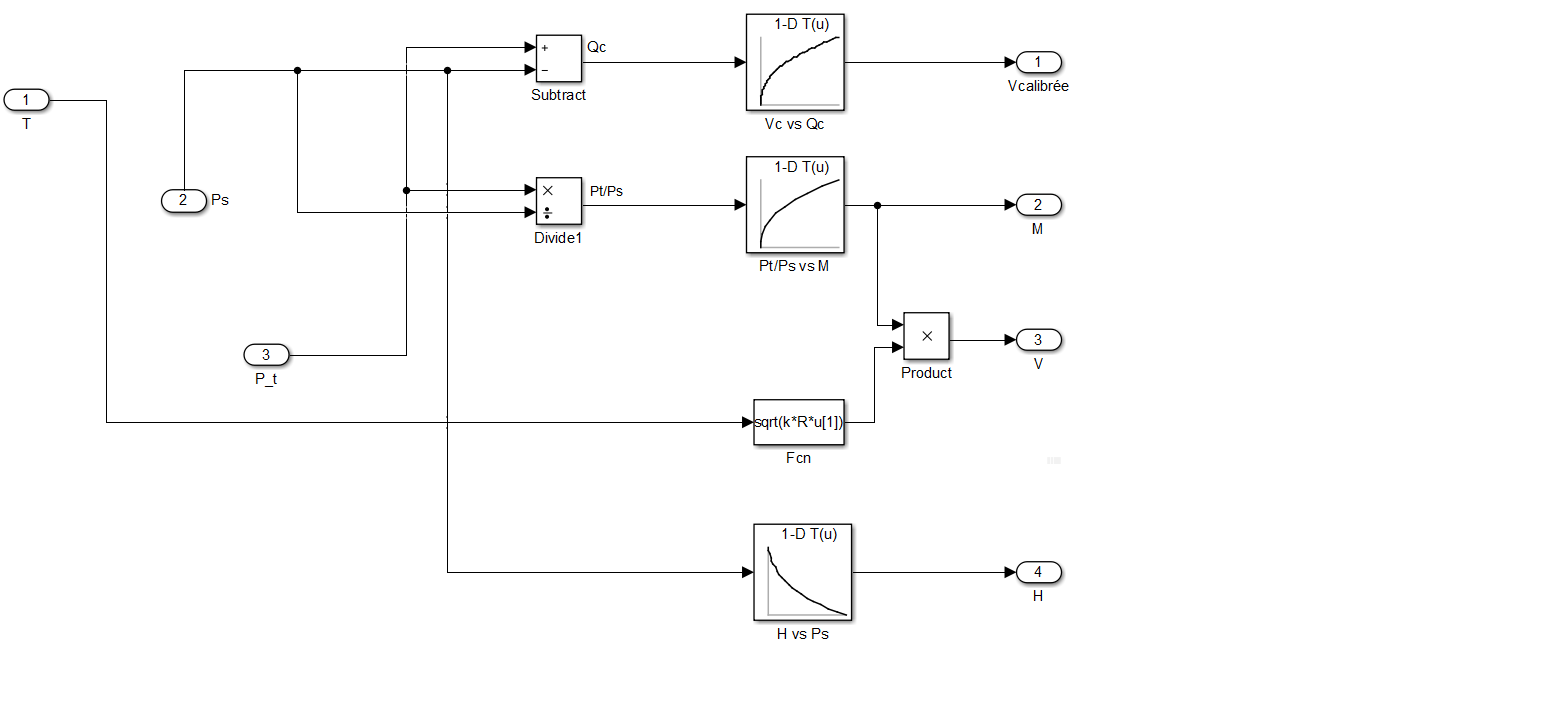


Figure 8 - Le bloc ADC

Le bloc ADC simule le fonctionnement d’un véritable ADC. Il permet de calculer les valeurs d’altitude H, de vitesse Vc et de nombre de Mach M grâce aux vecteurs de pressions totales et de pressions statiques.

Pour obtenir la vitesse calibrée, on utilise la différence entre Pt et Ps. On utilise donc un bloc *Subtract* entre Pt et Ps. Dans la *Look Up Table* « Vc vs Qc », on a Qc comme entrée et Vc comme « *table data* » (ces deux vecteurs viennent de la question 2). On peut alors observer la valeur de la vitesse calibrée dans un bloc *Display* (Figure 5).

De la même façon, on obtient le nombre de Mach à partir du rapport entre Pt et Ps, comme expliqué dans la question 2. On utilise donc un bloc *Divide* entre Pt et Ps. Pour obtenir la vitesse à partir du nombre de Mach, on a besoin de la vitesse du son à cette altitude. Pour cela, on utilise la température et la formule suivante : , avec k=1.4 pour l’air. Ensuite on sait que , on utilise donc un bloc *Product* entre M et a. On peut alors observer les valeurs trouvées pour M et V dans des blocs *Display* (Figure 5).

Enfin, pour trouver l’altitude, on a la mesure de la pression statique à disposition. On l’utilise dans la Look Up Table « H vs Ps » en l’ayant classé auparavant avec la fonction *sort* de Matlab. On peut alors observer la valeur de l’altitude calculée dans un bloc *Display* (Figure 5).

## Conclusion

Un second laboratoire intéressant qui nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l’ordinateur des données de l’air ainsi que tous les calculs qui se cachent derrière permettant de retrouver les quatre caractéristiques de l’atmosphère. La simulation de l’ADC via l’outil Simulink nous a montré concrètement comment pourrait être implémenté cet ordinateur dans un système réel.

## ANNEXE – Code Matlab

|  |
| --- |
| %% Labo2  %  clear all  close all  clc    %% Question 1  % Avec la fonction atmosia  H = [0:1000:20000];  [T, a, P, rho] = atmosisa(H);    figure(1);    subplot(2,2,1);  plot(H,T);  title('Temperature en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Temperature (K)');    subplot(2,2,2);  plot(H,a);  title('Vitesse du son en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Vitesse du son (m/s2)');    subplot(2,2,3);  plot(H,P);  title('Pression en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Pression (pascal)');    subplot(2,2,4);  plot(H,rho);  title('Densite de l''air en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Densite de l''air (kg/m3)');      %En utilisant les equations  R=287;  L=6.5\*10^-3;  g0 = 9.80665;    H = [0:1000:11000];  [T, a, P, rho] = atmosisa(H);    T\_equa1 = T(1)\*(1-((L)\*H)/T(1));  a\_equa1 = a(1)\*sqrt(1-((L)\*H)/T(1));  P\_equa1 = P(1)\*(1-((L)\*H)/T(1)).^((g0)/(L\*R));  rho\_equa1 = rho(1)\*(1-((L)\*H)/T(1)).^(((g0)/(L\*R))-1);    H = [12000:1000:20000];  [T, a, P, rho] = atmosisa(H);    T\_equa2 = T;  a\_equa2 = a;  P\_equa2 = P(1)\*exp((-g0./(R\*T)).\*(H-H(1)));  rho\_equa2 = rho(1)\*exp((-g0./(R\*T)).\*(H-H(1)));    H = [0:1000:20000];    figure();  subplot(2,2,1);  plot(H,[T\_equa1 T\_equa2]);  title('Temperature en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Temperature (K)');    subplot(2,2,2);  plot(H,[a\_equa1 a\_equa2]);  title('Vitesse du son en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Vitesse du son (m/s2)');    subplot(2,2,3);  plot(H,[P\_equa1 P\_equa2]);  title('Pression en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Pression (pascal)');    subplot(2,2,4);  plot(H,[rho\_equa1 rho\_equa2]);  title('Densite de l''air en fonction de l''altitude');  xlabel('Altitude (m)');  ylabel('Densite de l''air (kg/m3)');        %% Question 2  %    % Groupes 2 et 9  Psmes = [10789 20145 28996 41358 50658 59789 70138 79864 90124 92654 93945 100123 100954 101325];  Ptmes = [29854 37416 45879 52678 64598 76458 86223 92600 97420 98500 99956 101000 101800 101325];  [T0, a0, P0, rho0] = atmosisa(0);    %Calcul de M  PtPsMes = Ptmes./Psmes;    M1 = [0:0.2:1];  M2 = [1.2:0.2:2];  M = [0:0.2:2];  PtPsM1 = (1 + 0.2.\*M1.^2).^(3.5)  PtPsM2 = (166.92.\*M2.^7)./((7.\*M2.^2 - 1).^(2.5))  PtPsM = cat(2, PtPsM1, PtPsM2)    xq = PtPsMes;  vq1 = interp1(PtPsM,M,xq);  figure();  plot(PtPsM,M,'-',xq,vq1,'o');  title('Courbe du nombre de Mach en fonction du rapport Pt/Ps');  xlabel('Pt/Ps');  ylabel('M');  legend('Formule', 'Interpolation'); grid on ; box on;      %Calcul de Vc  Vc = [0:10:600];  Qc = zeros(1,size(Vc,2));  for i=1:length(Vc)  if (Vc(i)/a0)<1  Qc(i) = P0\*(((1+0.2\*(Vc(i)/a0)^2)^3.5)-1);  else  Qc(i) = P0\*(((166.92\*(Vc(i)/a0)^7)/(((7\*(Vc(i)/a0)^2)-1)^2.5))-1);  end  end    figure();  xq = Ptmes-Psmes;  vq1 = interp1(Qc,Vc,xq);  plot(Qc(1:31),Vc(1:31),'-',xq,vq1,'o');  title('Courbe de Vc en fonction de Pt-Ps');  xlabel('Pt-Ps');  ylabel('Vc');  legend('Formule', 'Interpolation'); grid on ; box on;      %Calcul de H en fct de Psmes  H = [0:1000:20000];  [T, a, P, rho] = atmosisa(H);    xq = Psmes;  vq1 = interp1(P,H,xq);  figure();  plot(H,P,'-',vq1,xq,'o');  title('Courbe de pression en fonction de l''altitude');  xlabel('H (m)');  ylabel('P (Pa)');  legend('Atm. standard', 'Interpolation'); grid on ; box on;    [Psort,index]=sort(P);  k=1.4; |