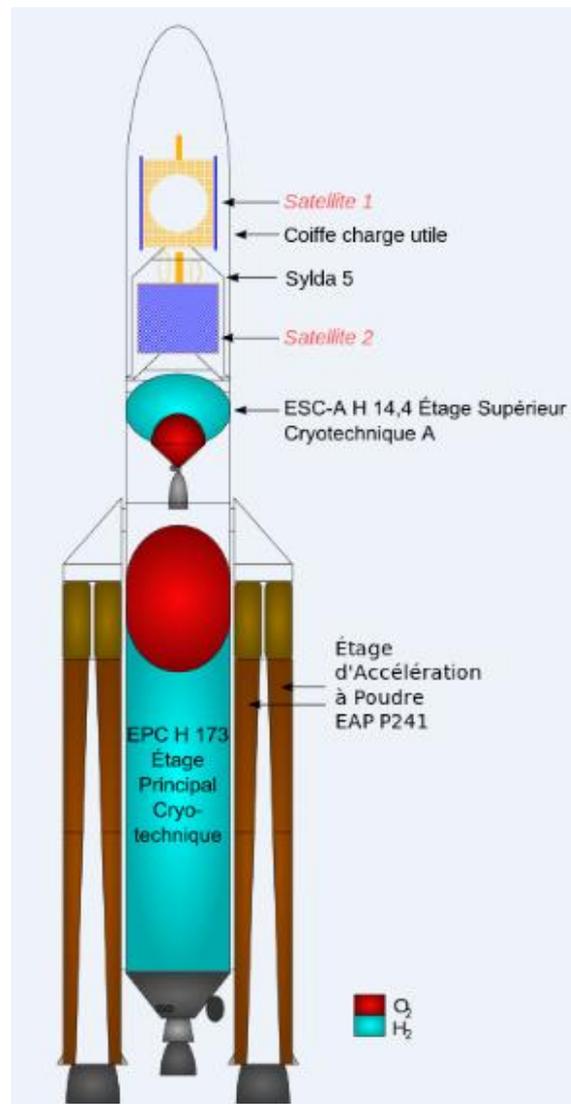


Lanceur Ariane 5 (vol ECA n°183)

Ariane 5 est le lanceur de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), développé pour placer des satellites sur orbite géostationnaire (*GTO : Geostationary Transfer Orbit*) et des charges lourdes en orbite basse (*LEO : Low Earth orbit*).

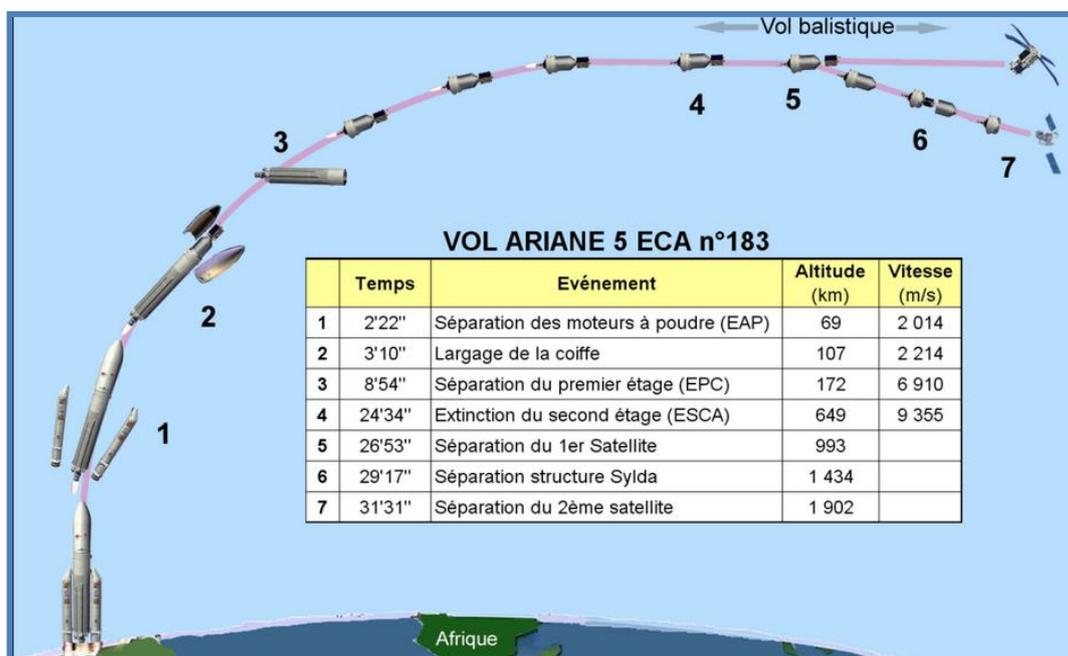
Caractéristiques techniques

- **Hauteur** : environ 50 mètres.
- **Diamètre** : environ 5,40 m.
- **Etage central cryotechnique (EPC)**: masse totale : 170 tonnes ; Ergols (LH2 + LO2) : 155 tonnes (utiles et consommés après le décollage).
- **Etage d'accélération à poudre (EAP)**: masse unitaire totale : 275 tonnes ; masse unitaire de poudre : 237 tonnes (utiles et consommés après le décollage).
- **Etage supérieur cryotechnique A (ESC-A)**: masse totale : 15 tonnes ; masse d'ergols : 10,5 tonnes.
- **Case à équipements** : 1,1 tonnes (reste jusqu'à la fin du vol).
- **Sylda** : système d'éjection de plusieurs satellites : 0,8 tonnes.
- **Coiffe** : 2,9 tonnes, diamètre extérieur 5,43 m.
- **Masse utile** : la masse utile que le lanceur peut placer en orbite, Mu=10 tonnes.



Analyse du vol

- Le schéma ci-contre décrit les instants :



- **Poussées générées des propulseurs :**
 - Chaque **EAP** :
 - 7 080 kN de 0 à 20 s ;
 - 5 060 kN de 20 à 100 s ;
 - Chute linéaire de 100 à 130 s.
 - **EPC** :
 - 1 350 kN de 0 à 570 s ;
 - Chute linéaire de 570 à 590 s.
 - **ESC-A** :
 - 65 kN durant 970 s (supposé constant).

Objectif : créer un modèle d'étude permettant de mesurer les paramètres cinématiques (accélération, vitesse et position) sur la période [0 ; 24'34''].

Hypothèses et données à considérer

- La norme de l'accélération de pesanteur \vec{g} diminue de 1% tous les 32 km d'altitude h , son équation approximative est donnée par :

$$g(h) \approx \frac{g_0}{1 + \frac{2 \cdot h}{R_T}} \quad \text{avec } g_0 = 9,79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} ; \text{ Rayon de la Terre } R_T = 6378 \cdot 10^3 \text{ m}$$

- La force de résistance aérodynamique (frottement de l'air sur la coiffe du lanceur) sera négligée (en effet, la masse volumique ρ de l'air sera supposée égale $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ à l'altitude 0, et chutera de moitié tous les 6 000 m environ).

Modélisation : mise en équation du comportement attendu

Question 1 : Tracer les graphes de l'évolution des forces de poussée pour chaque propulseur au cours du vol, notées F_{EAP} , F_{EPC} , F_{ESC} .

Question 2 : Tracer les graphes de consommation des carburants pour chaque propulseur.

Question 3 : En écrivant le théorème de la résultante dynamique appliqué au lanceur Ariane 5, **déterminer** l'équation de l'accélération α en fonction des forces de poussée, des masses mises en mouvement (masses constante et variables) et de l'accélération de la pesanteur $\|\vec{g}\|$ (supposée constante en première approximation).

Modélisation : création d'un modèle de comportement simulé

Question 4 : Construire le modèle de simulation sur la période [0 ; 130 s] avec $g = \text{cte}$.

Méthodologie

Sous le logiciel de simulation multiphysique **MATLAB R20xx**, activer le module **Simulink** :



En naviguant dans les menus suivants : **Commonly Used Blocks**, **Continuous**, **Math Operations**, **Sinks** et **Sources**, vous trouverez les blocs utiles pour votre création de modèle de simulation.

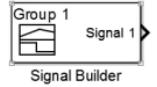
Double-cliquer pour ouvrir la fenêtre dialogue de paramétrage d'un bloc.

Modèles de comportement

TD simulation / Dynamique des systèmes

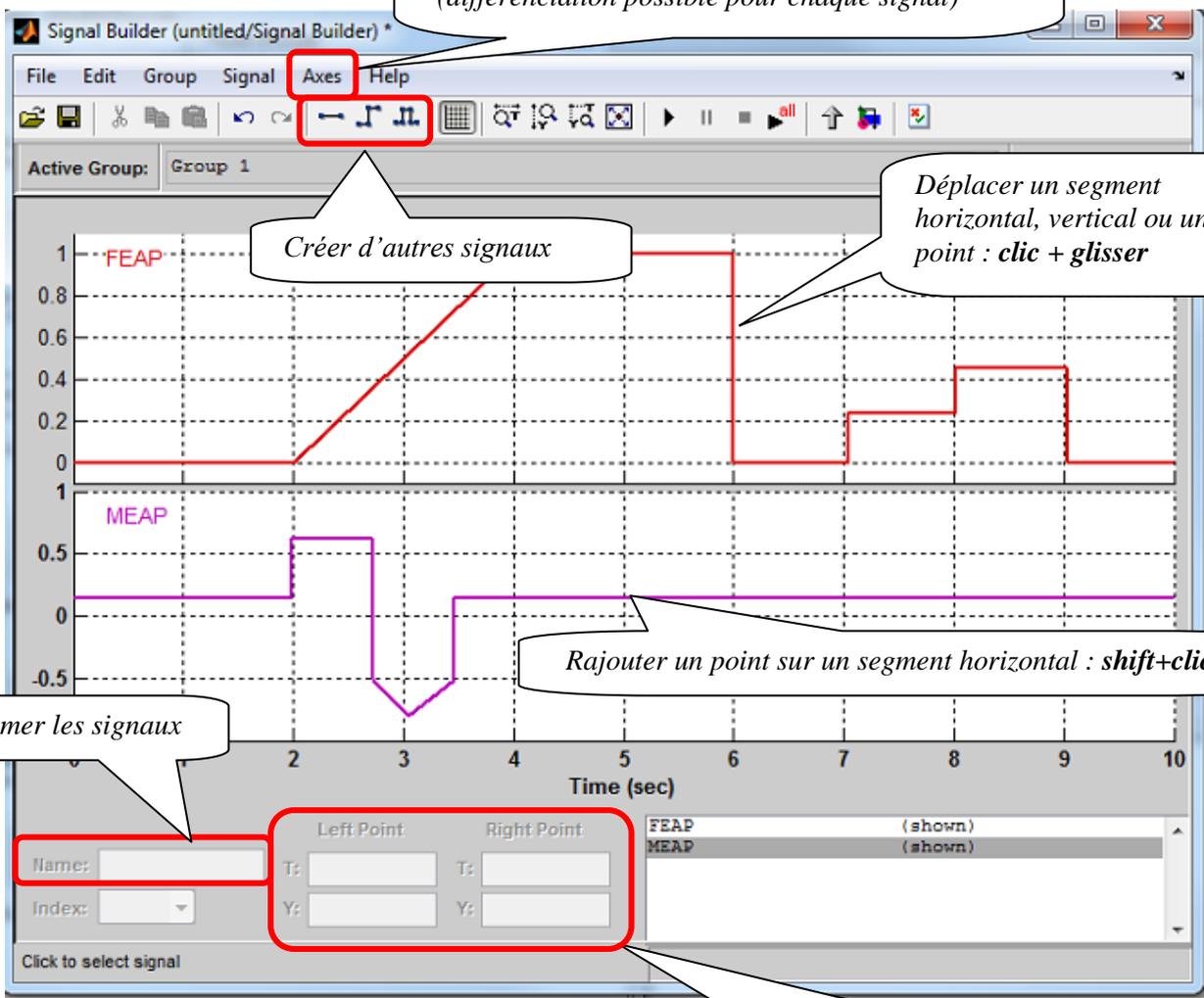
Conseils & astuces :

- Utiliser les blocs " Constant " pour définir les paramètres constants : 
- Utiliser les blocs " Signal Builder " pour définir les paramètres variables (fonction linéaire) : 
- Utiliser les blocs " Integrator " pour réaliser une intégration de la variable : 
- Utiliser un " Scope " pour visualiser l'évolution de vos variables : 
- Utiliser les fonctions mathématiques " Add " et " Divide " pour additionner/diviser des termes entre eux.
- Utiliser le bloc " Gain " pour affecter un gain sur une constante ou variable.



Question 5 : Modifier votre modèle de simulation pour étendre à la période [0 ; 24'34"] avec $g = cte$.

A propos du « Signal Builder » : création de signaux linéaires multiples



Régler les échelles des axes en abscisses (unique pour l'ensemble des signaux) et ordonnées (différenciation possible pour chaque signal)

Créer d'autres signaux

Déplacer un segment horizontal, vertical ou un point : clic + glisser

Rajouter un point sur un segment horizontal : shift+clic

Nommer les signaux

Zone de saisie des points caractéristiques du signal

Signal Builder (untitled/Signal Builder) *

File Edit Group Signal Axes Help

Active Group: Group 1

FEAP

MEAP

Time (sec)

Name: Index:

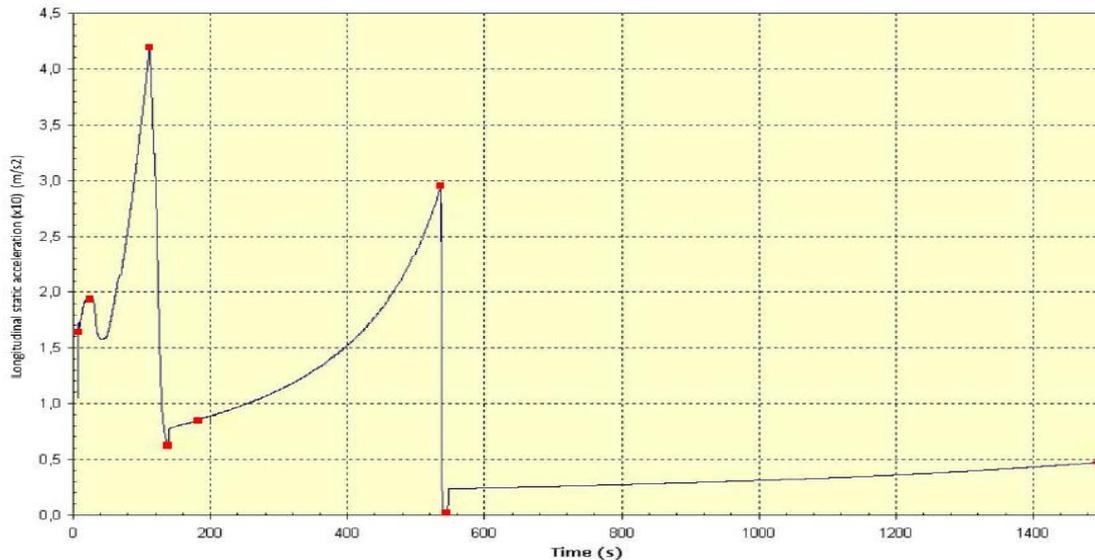
Left Point	Right Point
T: <input type="text"/>	T: <input type="text"/>
Y: <input type="text"/>	Y: <input type="text"/>

FEAP (shown)

MEAP (shown)

Click to select signal

Question 6 : Comparer le comportement en accélération du lanceur que vous avez obtenu au moyen de MATLAB-Simulink et le graphe ci-dessous issu d'un lanceur réel. Comparer le comportement en vitesse du lanceur que vous avez obtenu au moyen de MATLAB-Simulink avec les données fournies du vol Ariane 5 ECA n°183, ainsi que l'altitude à laquelle la coiffe est larguée.



Question 7 : Annuler la constante de gravité et relancer la simulation. Analyser la réponse simulée par rapport aux données fournies de vol réel.

Pour aller plus loin...

Question 8 : Corriger votre modèle en y intégrant la variation de g en fonction de l'altitude. Analyser les résultats obtenus.

Modèles de comportement

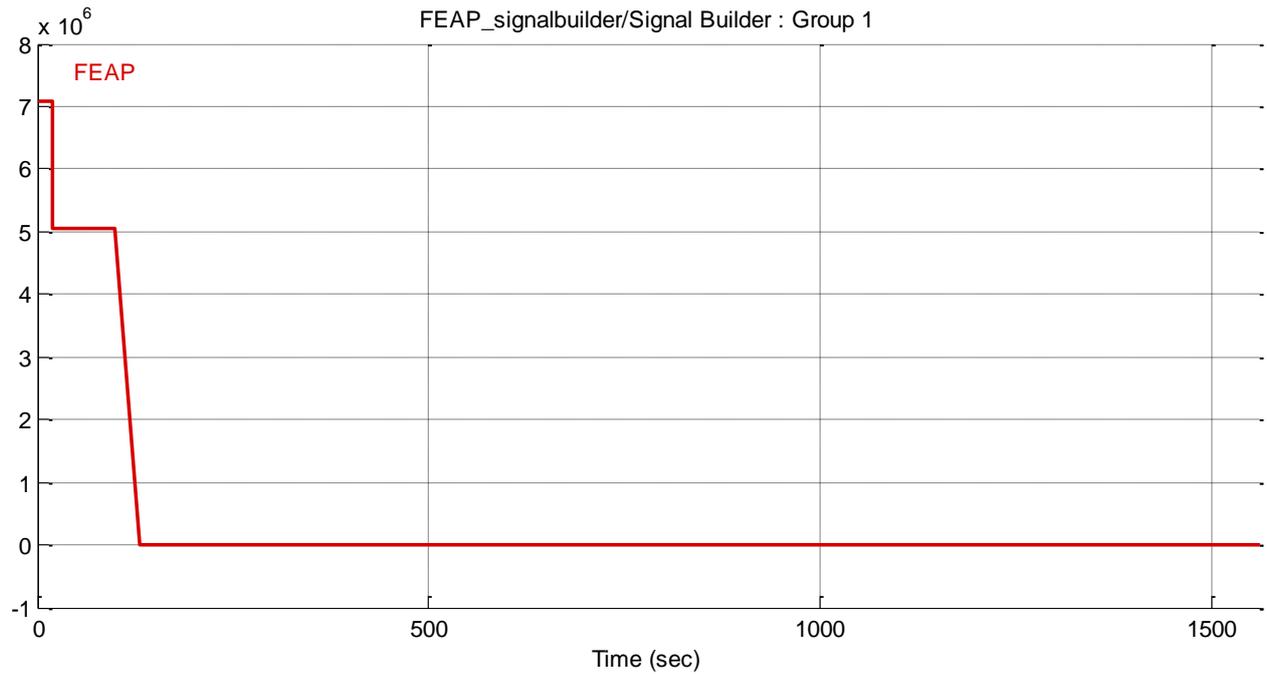
TD simulation / Dynamique des systèmes

Données extraites du vol Ariane 5 n°229

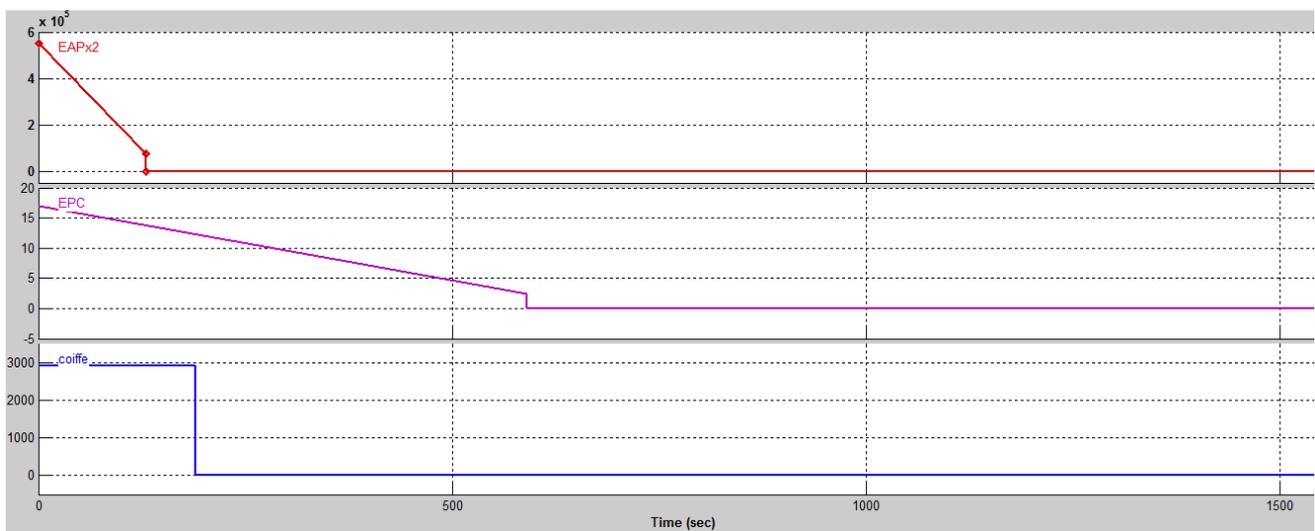
temps /H ₀ (s)	temps/H ₀ (mn)	événement	altitude (km)	masse (t)	Vrel (m/s)
----		Vol propulsé EAP - EPC			---
7,30	0 ' 07 "	Décollage	---	770,5	0
12,70	0 ' 13 "	Début de la manœuvre de basculement	0,09	743,2	36,0
17,05	0 ' 17 "	Début de la manœuvre en roulis	0,32	719,9	71,9
22,6	0 ' 23 "	Fin de la manœuvre de basculement	0,86	689,8	122,8
32,05	0 ' 32 "	Fin de la manœuvre en roulis	2,41	641,7	209,8
49,25	0 ' 49 "	Transsonique (Mach 1)	6,76	573,1	324,7
68,57	1 ' 09 "	Pdyn max.	13,5	495,8	521,5
113,1	1 ' 53 "	Passage à γ_{max} (41,75 m/s ²)	40,6	302,1	1597,7
144,0	2 ' 24 "	Passage à $\gamma = 6,22 \text{ m/s}^2$ H ₁	68,7	247,0	2047,4
144,8	2 ' 25 "	Séparation EAP	69,4	172,3	2049,1
----		Vol propulsé EPC			----
218,7	3 ' 29 "	Largage de la coiffe	122,6	146,0	2388
335	5 ' 35 "	Point intermédiaire	183,7	108,3	3285
445	7 ' 25 "	Acquisition Natal	221,3	72,4	4807
529,0	8 ' 49 "	Extinction de l'EPC (H ₂)	231,4	45,1	6758
535,0	8 ' 55 "	Séparation de l'EPC	231,4	26,0	6786
----		Vol propulsé ESC-A			----
539,1	8 ' 59 "	Allumage de l'ESCA	231,4	26,0	6788
580	9 ' 40 "	Perte Galliot	230,3	25,4	6873
777	12 ' 57 "	Acquisition Ascension	217,5	22,5	7295
800	13 ' 20 "	Perte Natal	215,9	22,1	7349
941	15 ' 41 "	Altitude minimale	210,0	20,1	7703
1100	18 ' 20 "	Acquisition Libreville	223,5	17,7	8144
1130	18 ' 50 "	Perte Ascension	230,2	17,3	8234
1265	21 ' 05 "	Point intermédiaire	288,8	15,3	8696
1400	23 ' 20 "	Acquisition Malindi	423,0	13,2	9163
1476,7	24 ' 37 "	Extinction de l'ESCA (H ₃₋₁)	552,3	12,0	9438

Eléments de correction :

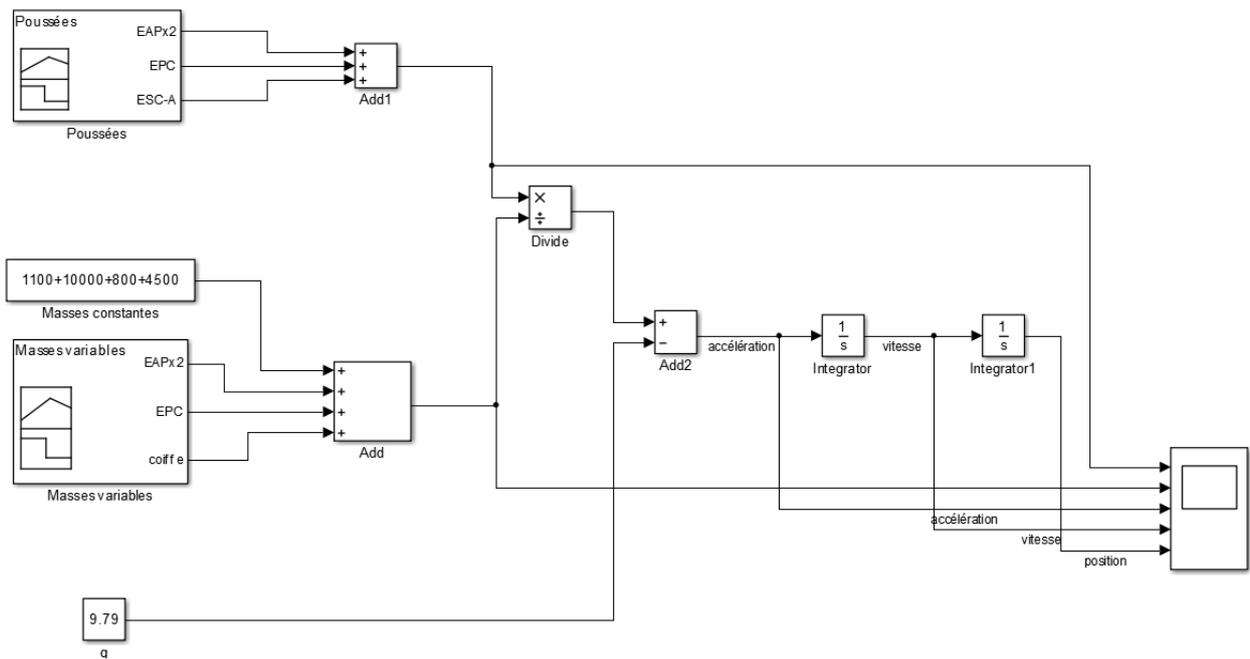
$$a = \frac{\text{Poussée totale } (t)}{(m_{cte} + m_{var})} - g$$



Masses variables



modèle simulink $g = cte$



modèle simulink $g=f(h)$

