

Modulations / démodulations numériques & objets connectés

Proposition de ressources

Programme et prérequis

- Le programme de Sciences de l'ingénieur indique :

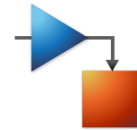
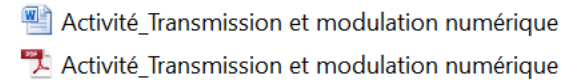
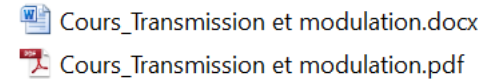
Analyser les principes de modulation et démodulation numériques	Internet des objets Notions de modulation-démodulation de signaux numériques en amplitude, en fréquence	T ^{ale}
---	--	------------------

L'analyse des modulations-démodulations numériques est abordée de façon qualitative. Elle est fondée sur les résultats issus de simulations multi-physiques.

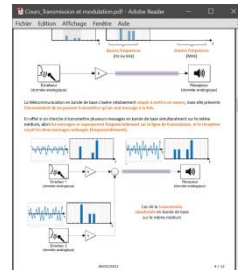
- Prérequis pour les élèves :
 - Notion de transmission numérique (en bande de base)

Ressources proposées

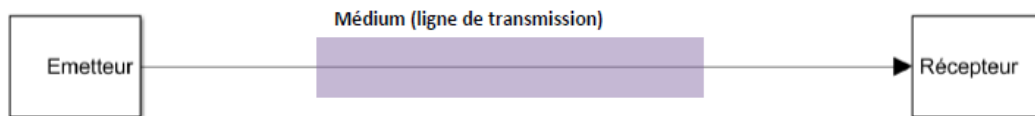
- Proposition de :
 - Cours sur la notion de modulation / démodulation
 - Activité de modélisation portant sur les modulations démodulations numériques
 - Modèles multiphysiques Matlab / Simulink associés
 - Proposition de matériel de prototypage



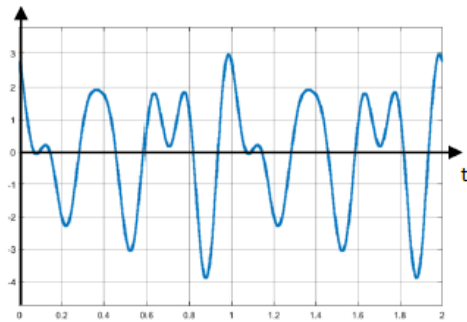
Extraits du cours



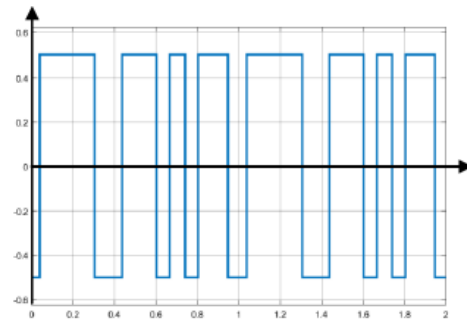
- Aborde la notion de canal de transmission :



- Décrit la nature de signaux à transmettre :

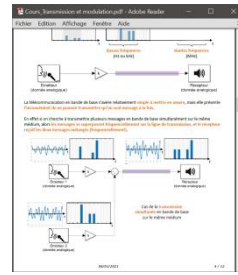


Signal analogique

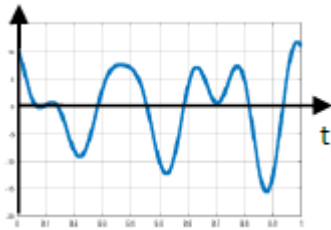


Signal numérique

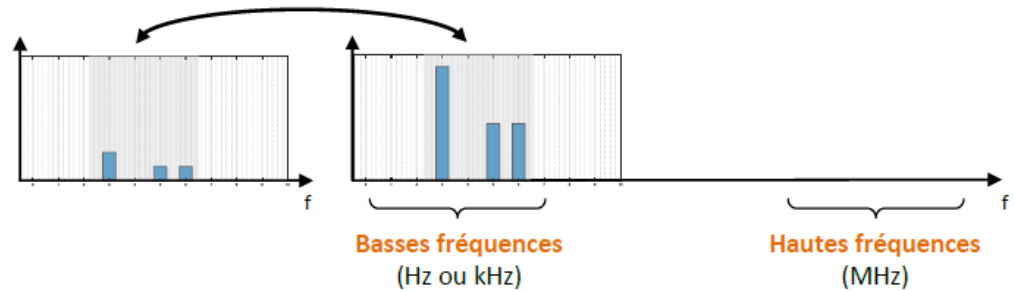
Extraits du cours



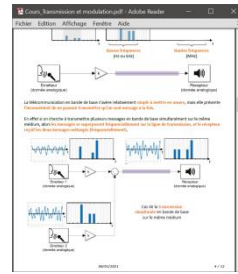
- Utilise des descriptions visuelles afin d'aborder :
 - l'aspect fréquentiel d'un signal (approche qualitative)
 - la notion de transmission en bande de base



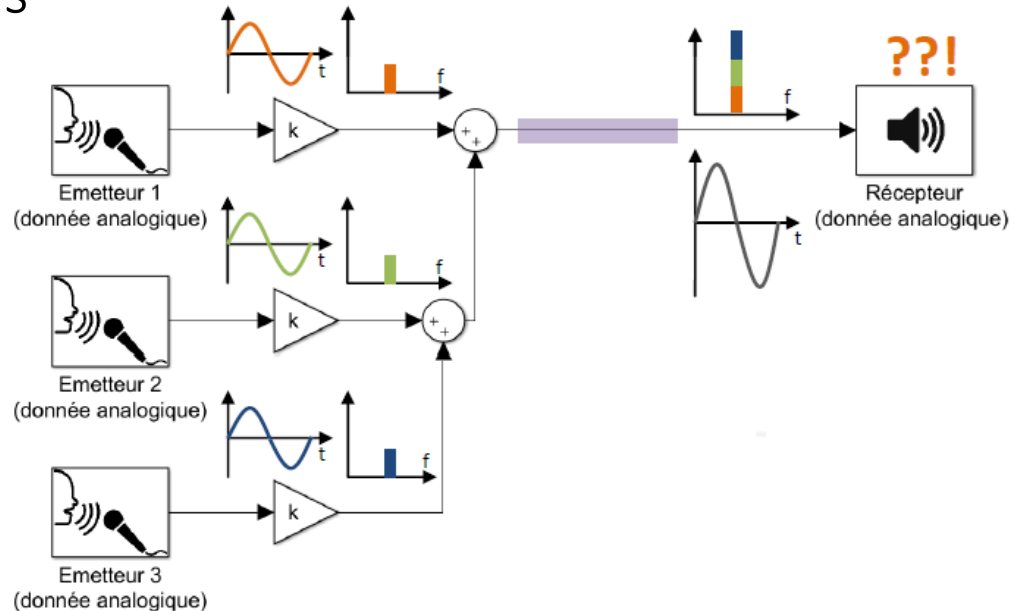
Bande de fréquence du signal d'origine = « **Bande de base** »



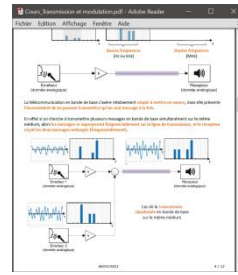
Extraits du cours



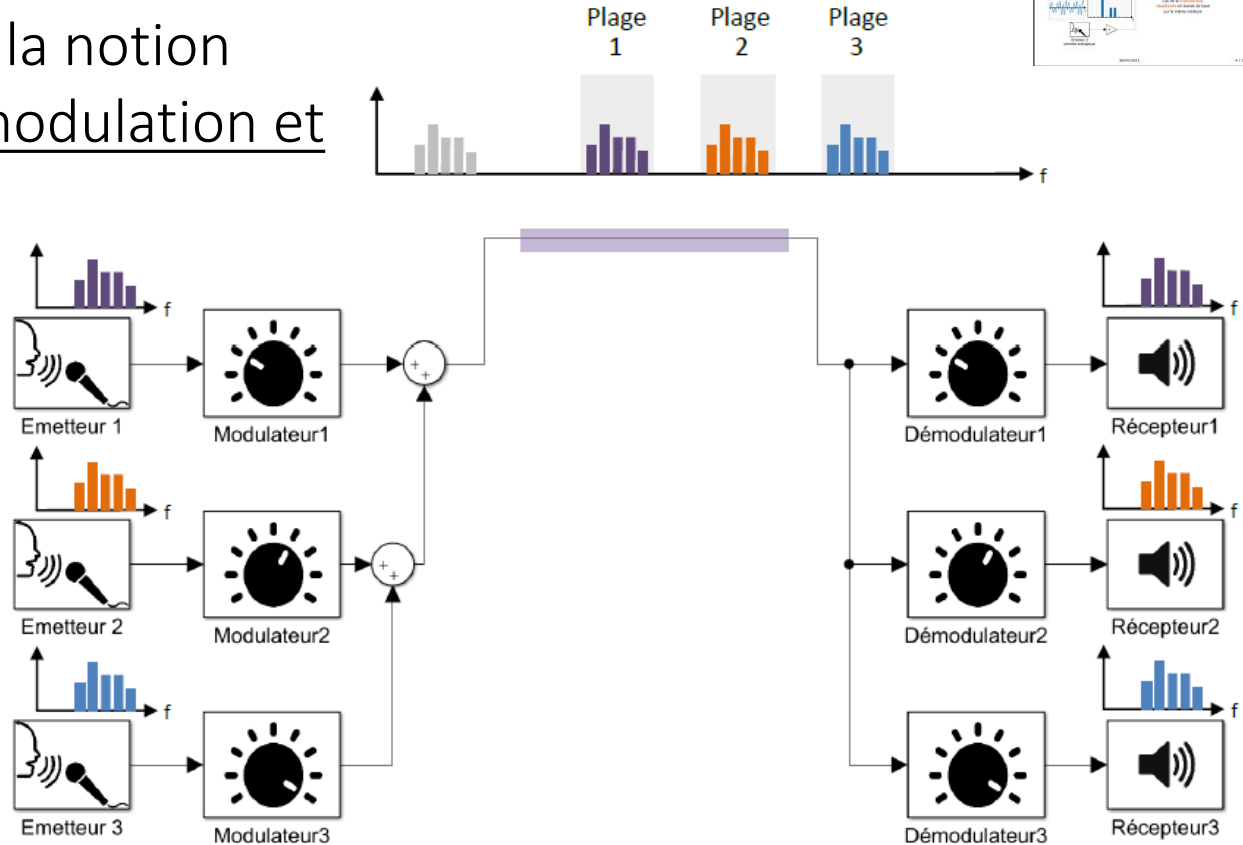
- Mise en évidence des inconvénients liés à la transmission en bande de base sous forme de nombreuses représentations visuelles :



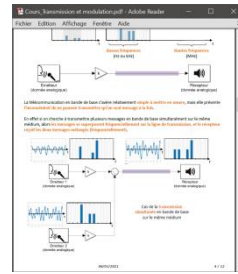
Extraits du cours



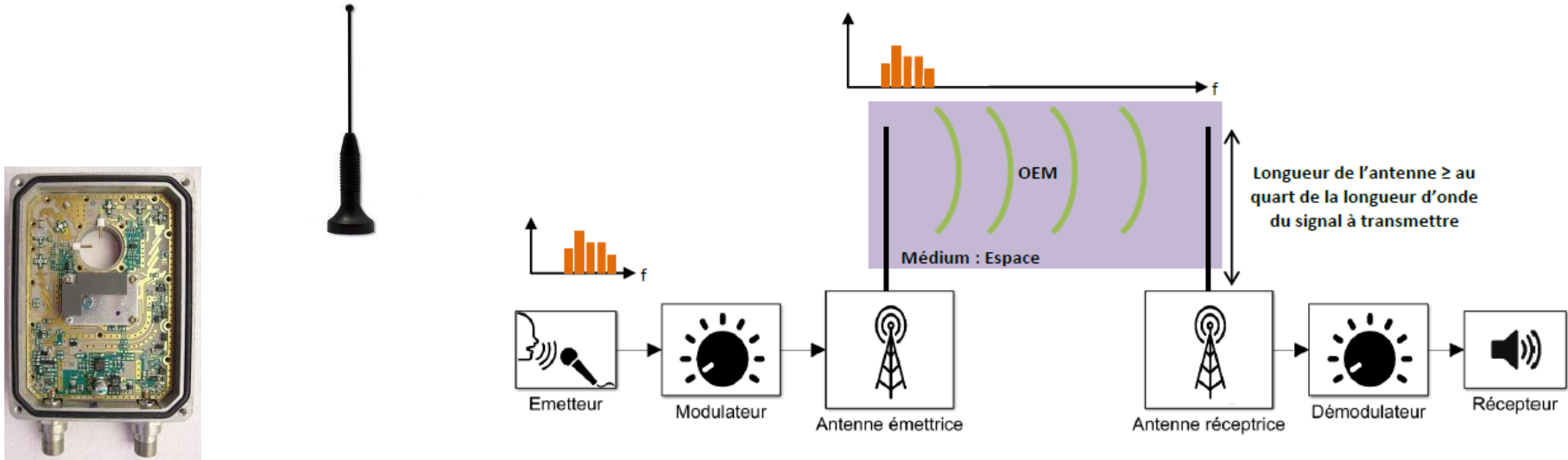
- Mise en évidence de la notion et de l'intérêt de la modulation et démodulation sous forme visuelle :



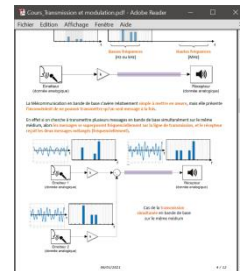
Extraits du cours



- Aborde aussi l'intérêt de la modulation dans le cas d'une transmission par onde électromagnétique notamment en s'intéressant à la dimension des antennes (en lien avec le cours de Physique) :

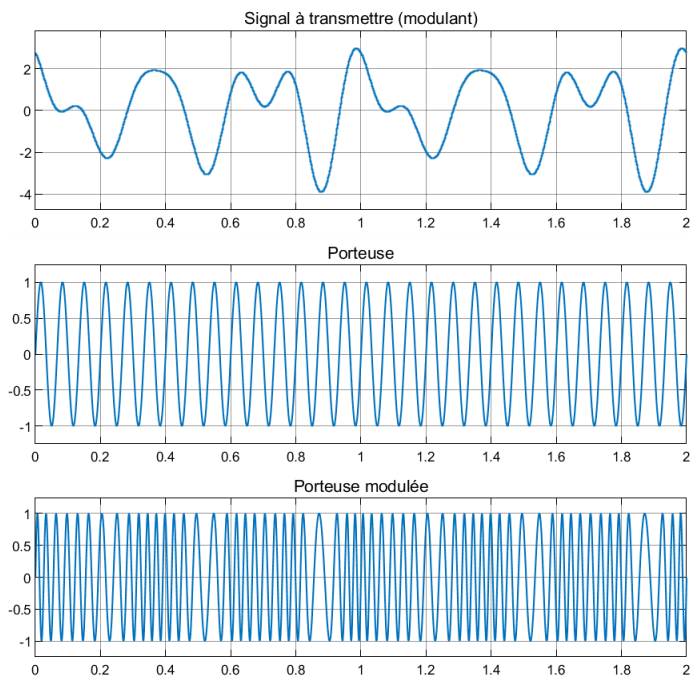


Extraits du cours

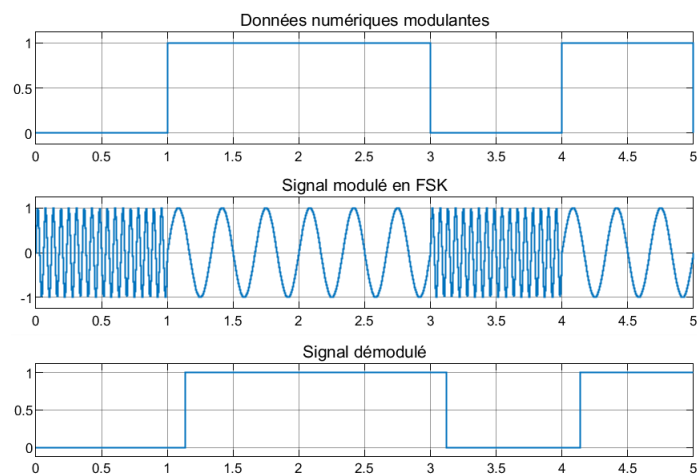


- Découverte de la notion de porteuse et de modulation :

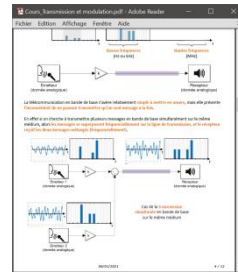
- Modulation analogique



Modulation numérique

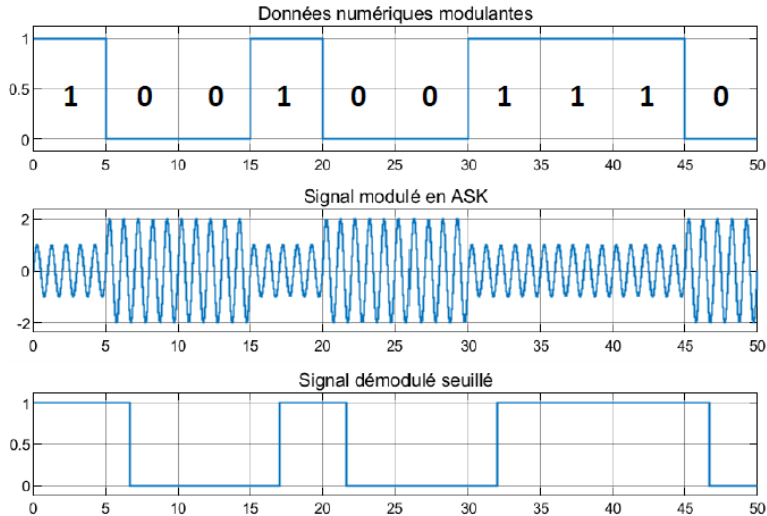


Extraits du cours

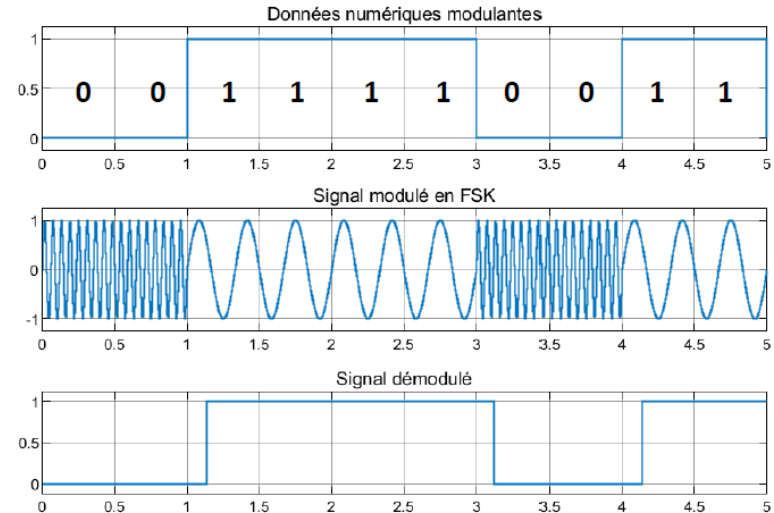


- Description des modulations numériques d'amplitude et de fréquence :

ASK



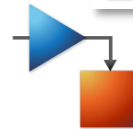
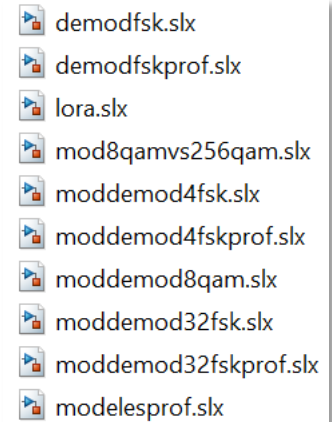
FSK



Activité de modélisation

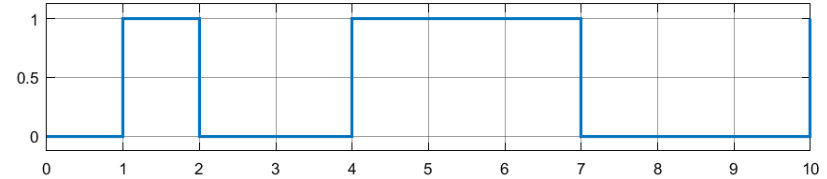
- L'objectif est ici de mettre en place des modèles Matlab Simulink pour différentes modulations numériques afin d'appréhender les notions de :

- Signal modulant et de porteuse modulée
- Forme d'onde de la porteuse
- Débit binaire
- Symbole
- etc ...

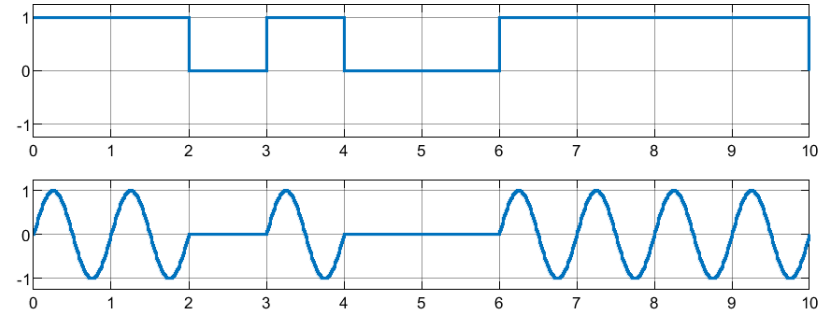
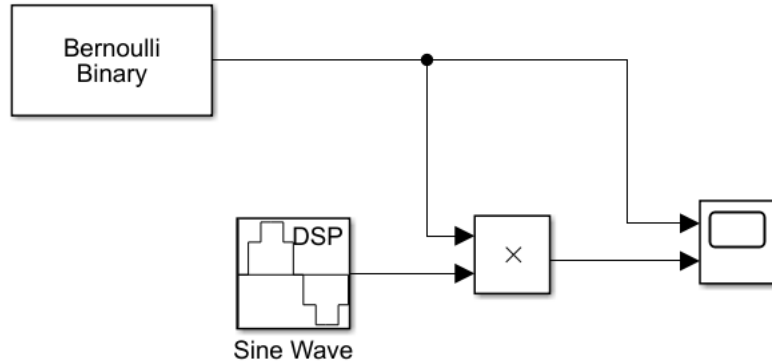


Extraits de l'activité de modélisation

- Génération d'une séquence binaire et notion de débit binaire :

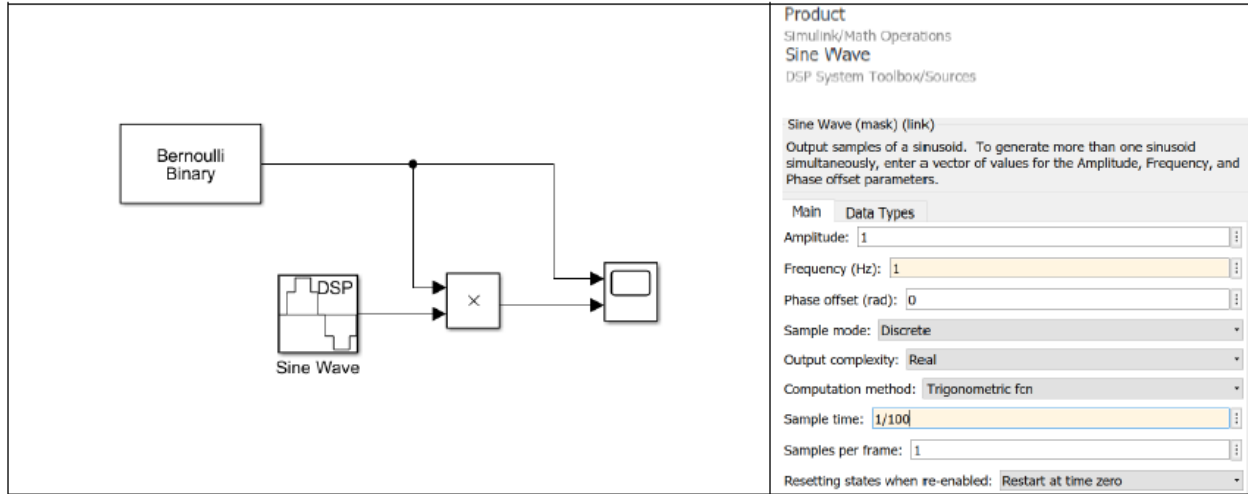


- Mise en place d'une modulation ASK / OOK par la saisie et la configuration du modèle :



Extraits de l'activité de modélisation

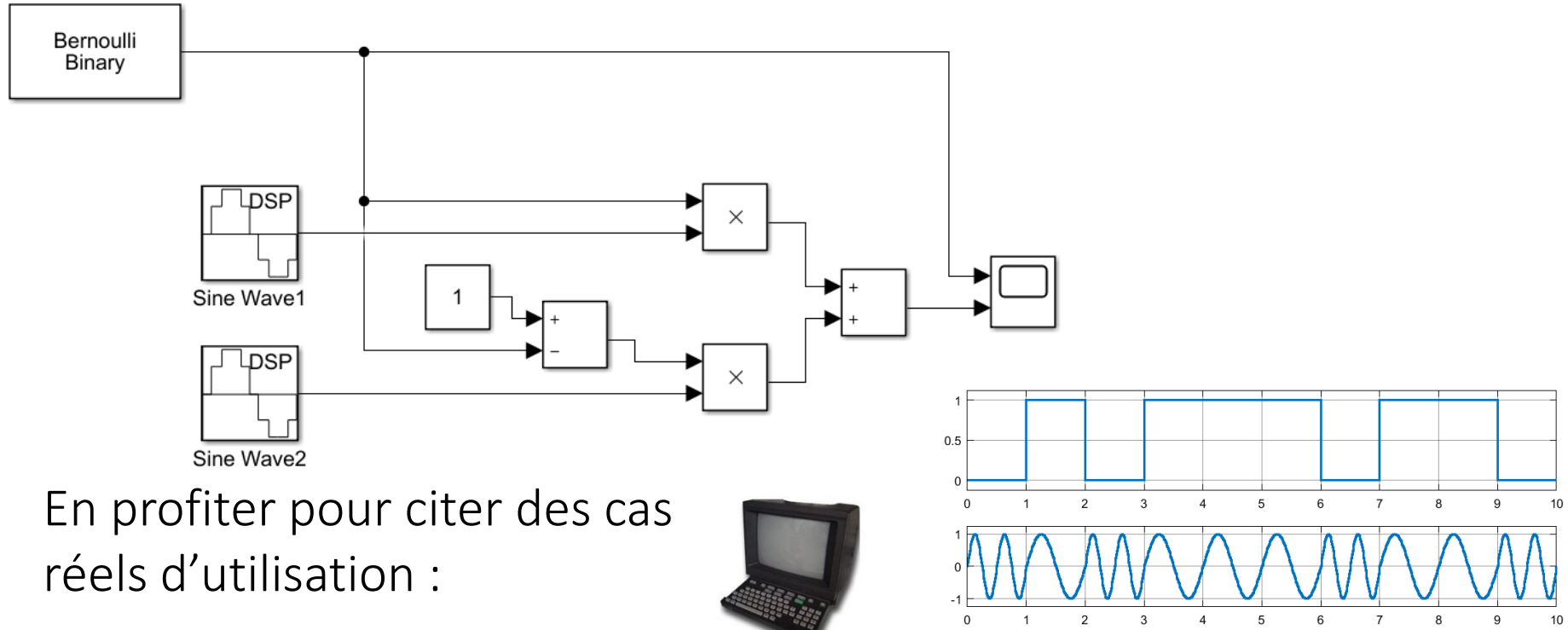
- La saisie et la configuration du modèle sont guidées :



- L'activité est accessible pour tous les élèves mais il est préférable qu'ils aient déjà utilisé Matlab / Simulink pour plus de fluidité.

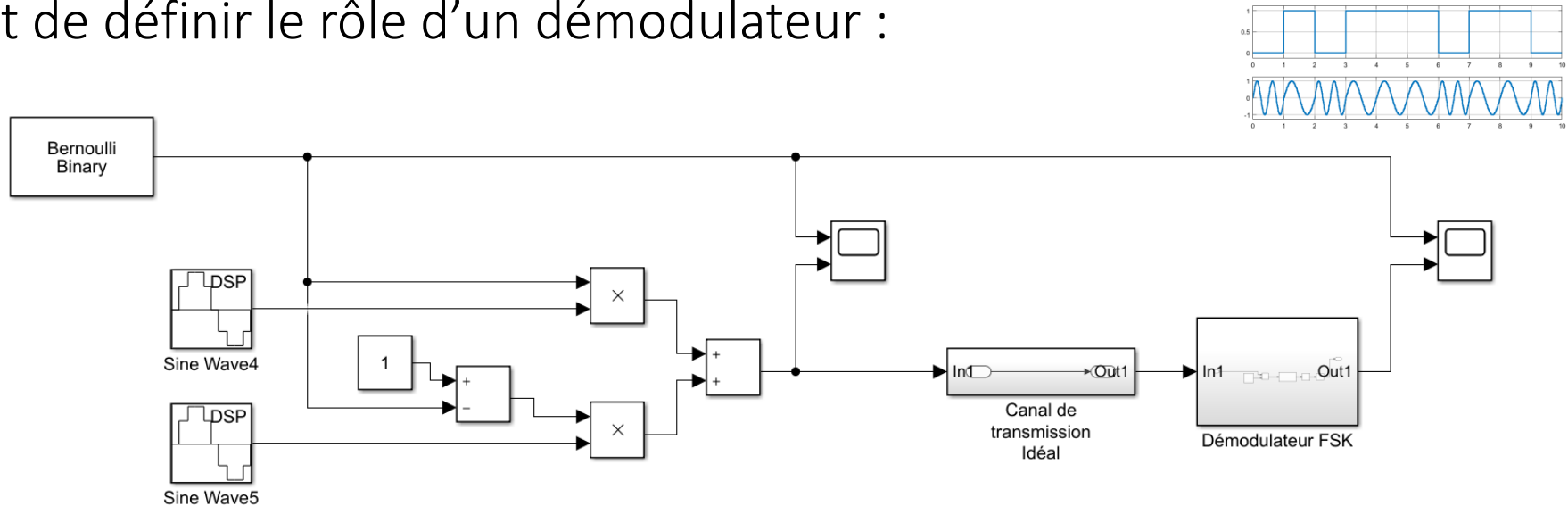
Extraits de l'activité de modélisation

- Mise en place et étude d'une modulation FSK, notion de forme d'onde



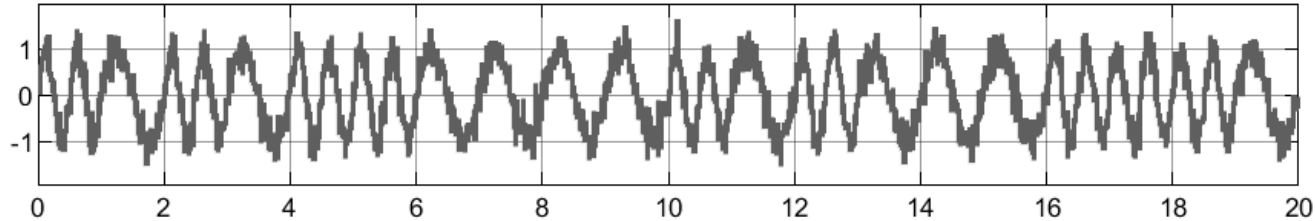
Extraits de l'activité de modélisation

- Mise en place d'une modulation FSK associée à sa démodulation (fournie en ressources à l'élève)
- Permet d'aborder la notion de canal de transmission et de définir le rôle d'un démodulateur :

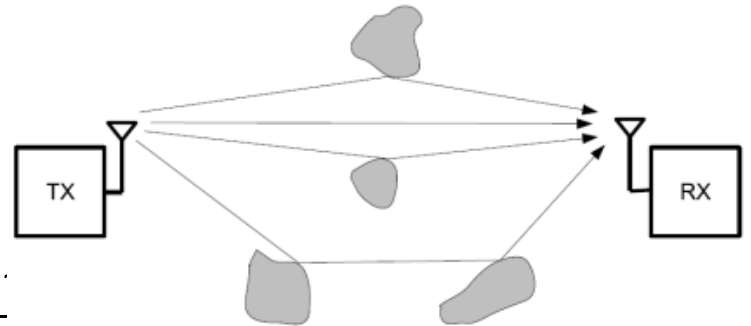


Extraits de l'activité de modélisation

- Découverte des conséquences de la présence de :
 - Bruit sur le canal de transmission

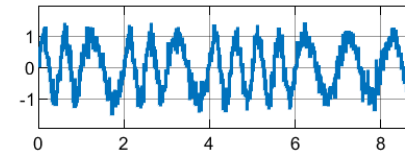
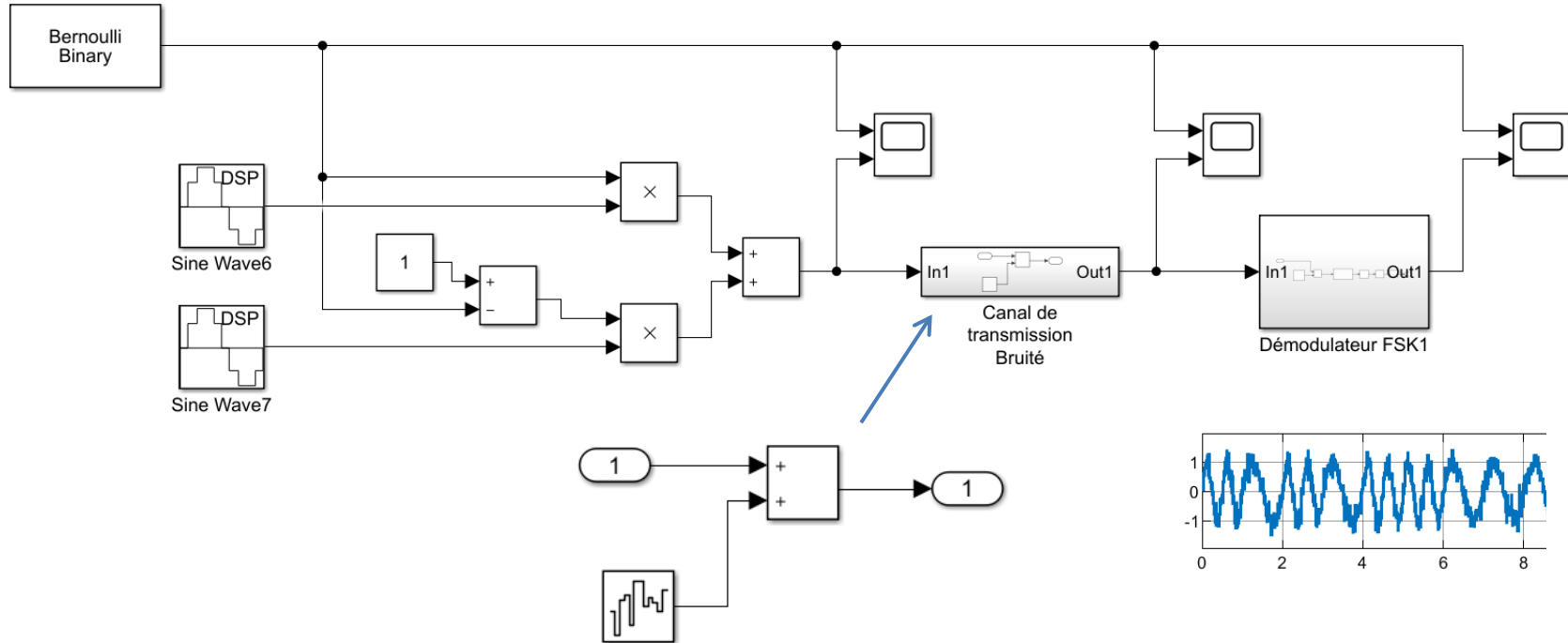


- Réflexions du signal : évanouissement (non véritablement traité dans l'activité mais en lien avec le cours de Physique)
- Dur choix pour le démodulateur : 0 ou 1 ??



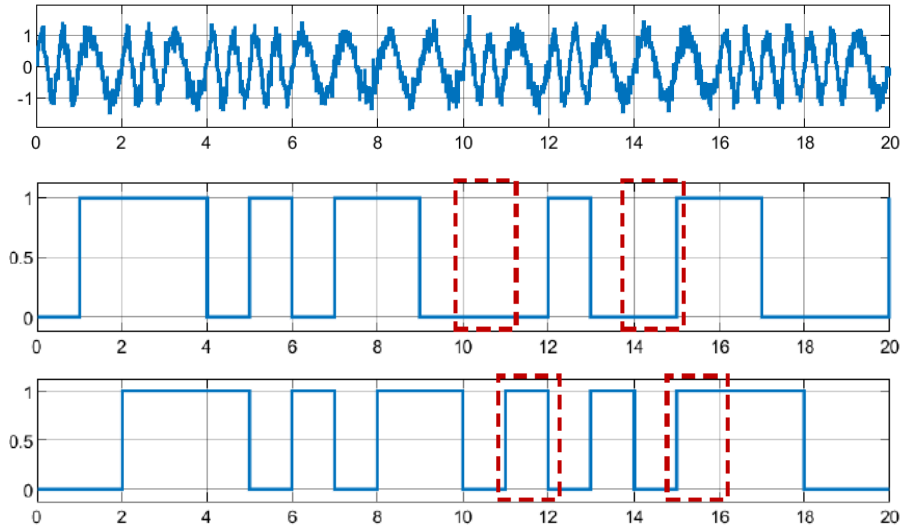
Extraits de l'activité de modélisation

- Ajout de bruit sur le canal de transmission :

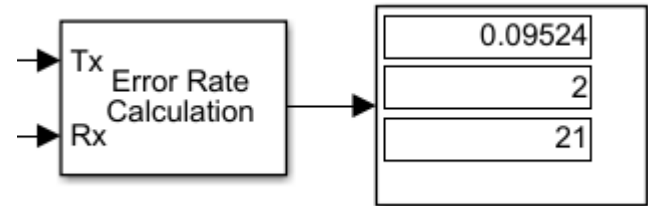


Extraits de l'activité de modélisation

- Mise en évidence, à l'aide du modèle, des conséquences de la présence de bruit plus ou moins intense sur le canal de transmission
 - Dénombrement du nombre d'erreurs dans une séquence binaire :



Puis à l'aide d'un bloc dédié :



Extraits de l'activité de modélisation

- Découverte de la notion de symbole et intérêt de cette notion :
 - Augmentation du débit binaire

Par exemple, la **séquence binaire 1011100111110001**, peut être vue :

- comme une **séquence de 16 symboles de longueur 1 bit** (partie précédente)
- ou comme une **séquence de 8 symboles de longueur 2 bits** valant respectivement :

s1 = "00"

s2 = "01"

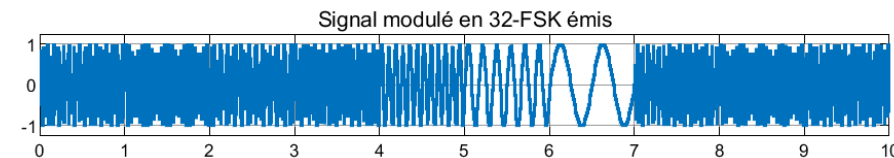
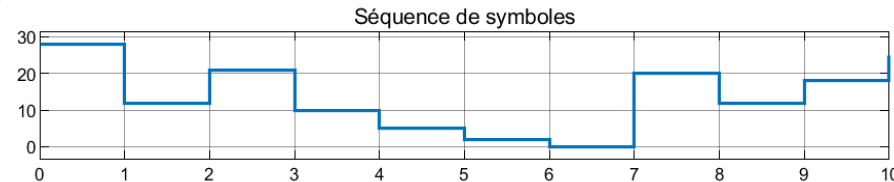
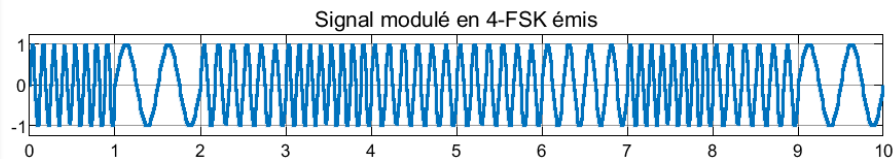
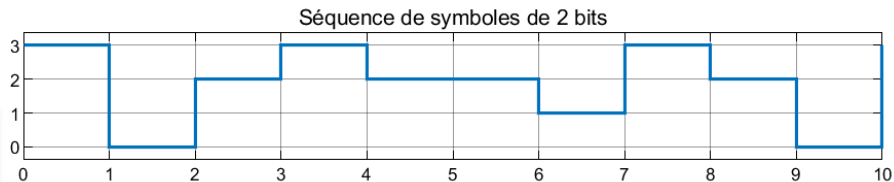
s3 = "10"

s4 = "11"


pendant le même temps d'émission du symbole T_s (ici 1seconde), on transmet alors 2 bits.

Ainsi il est possible de multiplier par 2 le débit binaire !

- Exemple de la modulation 4-FSK
- Exemple de la modulation 32-FSK



Extraits de l'activité (approfondissement)

- Approfondissement du cours sur les modulations / démodulations numériques au service du grand oral :
 - Un de mes élèves mène actuellement une réflexion sur des questions de grand oral en lien avec les modulations numériques utilisées dans le cas de la 4G et la 5G.The image shows two logos side-by-side. On the left is the 4G logo, which consists of the text '4G' above a signal strength icon of four vertical bars of increasing height. On the right is the 5G logo, which consists of the text '5G' in a bold, sans-serif font, with three green curved lines above it representing a signal or wave.
 - Cet approfondissement qualitatif, à destination des seuls élèves susceptibles d'être intéressés, est basé sur la lecture :
 - ✓ d'une documentation technique de téléphone compatible 4G
 - ✓ d'un article récent publié dans une revue de télécommunication

Extraits de l'activité (approfondissement)

- Cas de la 4G / 5G et de la modulation 256-QAM
 - Lecture des spécifications techniques d'un smartphone

Bandes 4G TDD	34, 38, 39, 40, 41, 66	Autres	S Pen connecté
Bandes 3G	1 - 2100 Mhz, 2 - 1900 Mhz, 4 - 1700 Mhz AWS, 5 - 850 Mhz, 8 - 900 Mhz	Étanchéité eau & poussière	IP68
Bandes 2G	2 - 1900 Mhz, 3 - 1800 Mhz, 5 - 850 Mhz, 8 - 900 Mhz	Port carte 1	Nano SIM
Type de connecteur	USB C	Port carte 2	Micro SD, Nano SIM
NFC	Oui	Indice de performance 2019	A++
Système de positionnement	Beidu / Compass, GPS, Galileo, Glonass	Design	Bords incurvés avant et arrière
QAM256	Oui	Surcouche	Samsung One UI
Mimo	4x4		
Fonctionnalités	Mirrorlink, Smart View		
WiFi direct	Oui		
WiFi 6	Oui		

Extraits de l'activité (approfondissement)

- Cas de la 4G / 5G et de la modulation 256-QAM :
 - Lecture de l'article récent

Après avoir proposé la modulation 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation, soit Modulation d'Amplitude en Quadrature en français), Free a récemment activé la modulation 256 QAM sur son réseau mobile en France Métropolitaine, et plus récemment encore à La Réunion. Mais à quoi sert cette technologie ?

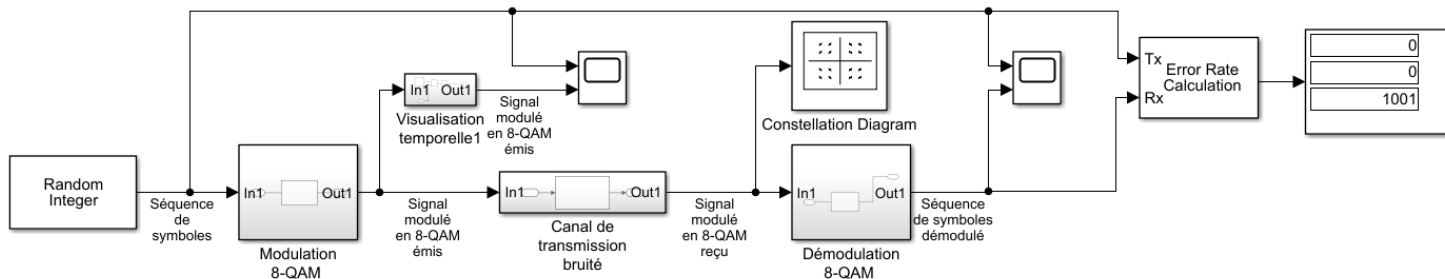
Dans les faits, cela permet de booster les débits. Le débit maximum théorique descendant sur le réseau Free Mobile en France passe ainsi de 337,5 Mbit/s (en 64 QAM) à 440,55 Mbit/s (en 256 QAM). Une augmentation de l'ordre de 30 %, ce qui est loin d'être négligeable.

Sur le plan technique, il s'agit dans les grandes lignes d'augmenter le nombre de données transmises sur une période de signal. Le 64 QAM permet en effet d'encoder jusqu'à 64 valeurs (encodées sur 6 bits) par période, contre 256 valeurs (encodées sur 8 bits) par période pour le 256 QAM.

En pratique, cet exploit nécessite un signal de bonne qualité, puisque la lecture du signal se fait avec des marges beaucoup plus réduites (4 fois plus réduites que le QAM 64), ce qui augmente le risque de lire une donnée fautive due aux parasites électromagnétiques. De plus, votre mobile doit être capable de réaliser une lecture très précise par période de signal, ce qui est le cas pour les modems compatibles LTE CAT 11 et plus.

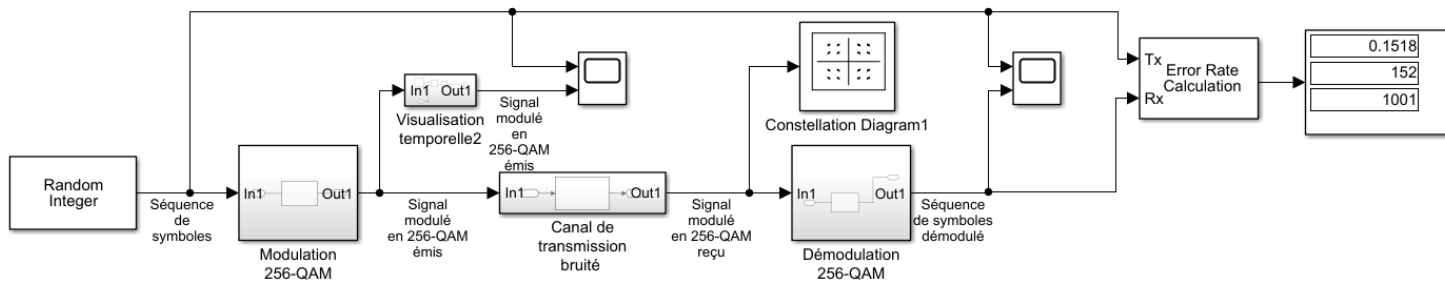
Extraits de l'activité (approfondissement)

- Retour au modèle (fourni entièrement à l'élève)
 - Mise en évidence du compromis entre débit binaire et sensibilité au bruit sur le canal de transmission et justification des propos tenus dans l'article



Le match !

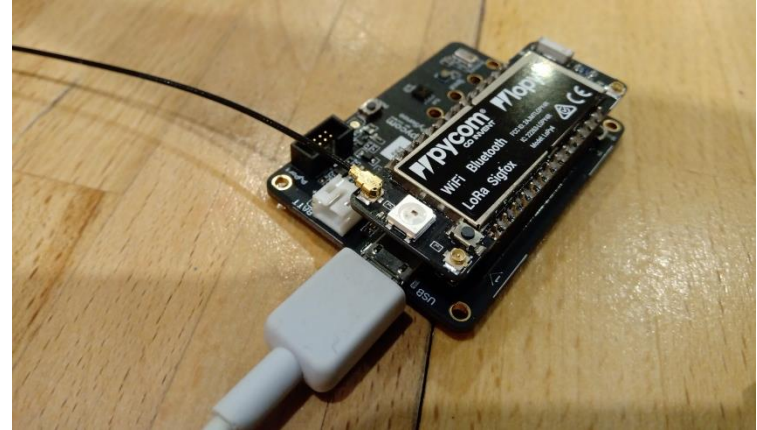
8-QAM vs 256-QAM
sur un canal bruité



Tout est affaire de
compromis !!

Matériel de prototypage associé

- Utilisation de cartes PyCom
 - Carte Lopy4
 - Microcontrôleur ESP32
 - Machine virtuelle MicroPython
 - GPIO, ADC, PWM, UART, SPI, I2C, SD Card
 - Wifi, Lora, Sigfox, Bluetooth
 - associée à la Carte PySense v2
 - Accéléromètre
 - Capteur d'éclairement
 - Capteur d'humidité et de température
 - Capteur barométrique



pycom
go invent

De nombreuses ressources sont disponibles sur le site <https://pycom.io/>

Matériel de prototypage associé

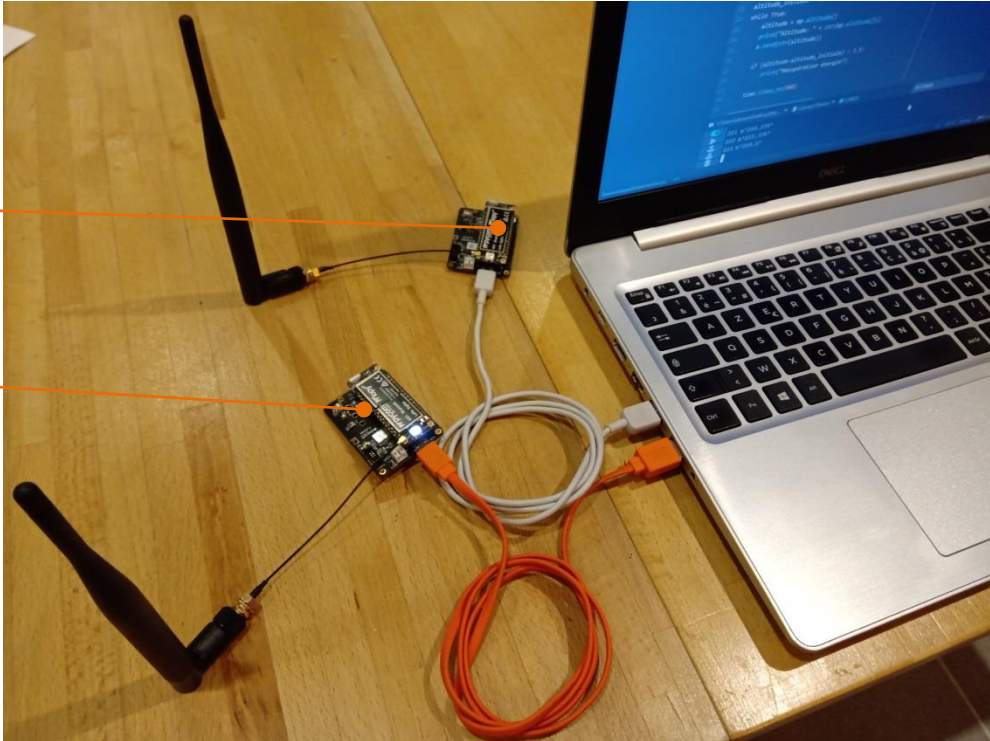
- Exemple de mise en place d'une communication Lora « bas niveau » (sans nécessité d'identification)

Carte émettrice

Carte réception



Analyseur RF environ 200€



Retour d'expérience

- Remarques :
 - L'ensemble cours / activité nécessite plus de 6h environ.
 - Les élèves apprécient globalement l'activité notamment au moment où celle-ci permet de se référer à des usages concrets (Minitel, Satellite, Smartphone, 4G, 5G, comparaison de performances, etc...).
 - Un élève est allé jusqu'à vouloir savoir ce qui se cachait derrière le bloc de démodulation.
 - L'activité reste cependant qualitative et passe sous silence bon nombre de connaissances (mais c'est le programme de SI qui l'impose).



Bilan des ressources proposées

- Les ressources sont donc les suivantes :

• _DossierElèves

• Modèles

• PythonPycomPySense

• Activité_Transmission et modulation numérique - Correction.docx

• Activité_Transmission et modulation numérique - Correction.pdf

• Activité_Transmission et modulation numérique - Elève.docx

• Activité_Transmission et modulation numérique - Elève.pdf

• Cours_Transmission et modulation.docx

• Cours_Transmission et modulation.pdf

• ModèlesElèves

• Activité_Transmission et modulation numérique - Elève.docx

• Activité_Transmission et modulation numérique - Elève.pdf

• Cours_Transmission et modulation.docx

• Cours_Transmission et modulation.pdf

• eleve

• demodfsk.slx

• demodfskprof.slx

• lora.slx

• mod8qamvs256qam.slx

• moddemod4fsk.slx

• moddemod4fskprof.slx

• moddemod8qam.slx

• moddemod32fsk.slx

• moddemod32fskprof.slx

• modelesprof.slx

• boot.py

• main.py

• NodeA.py

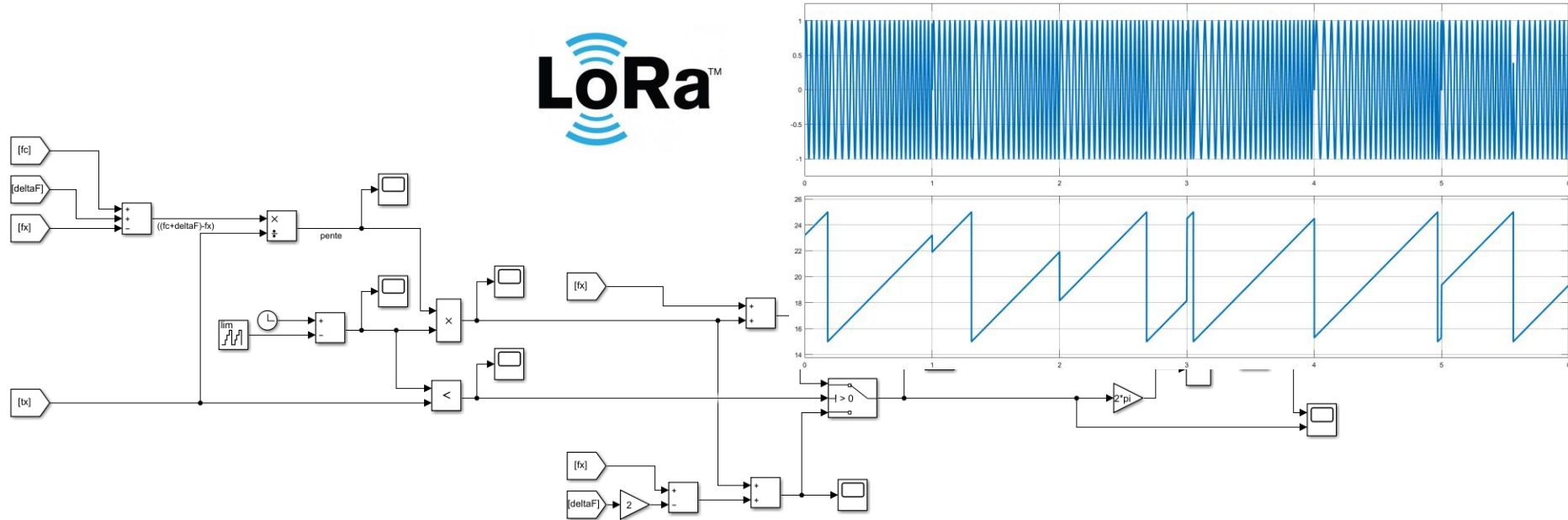
• NodeB.py

○ Les modèles sont en version Matlab 2018a et 2015a

○ Le diaporama est aussi fourni.

Ressource bonus : Modulation LORA

- La ressource inclut également un modèle « fait maison » de la modulation numérique LORA des objets connectés dont le programme de SI fait référence :



- Excellente ressource sur la modulation LORA (par des collègues de BTS) : https://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/caracterisation-des-procedes-de-modulation-et-de-demodulation-lora

En espérant que ces ressources vous seront utiles.

Merci pour votre écoute !