

Modulations / démodulations numériques & objets connectés

Proposition de ressources

Programme et prérequis

- Le programme de Sciences de l'ingénieur indique :

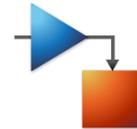
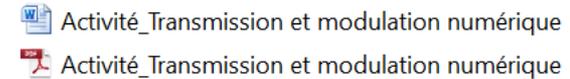
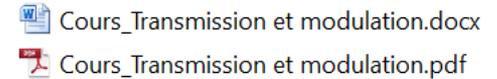
| | | |
|---|--|------------------|
| Analyser les principes de modulation et démodulation numériques | Internet des objets Notions de modulation-démodulation de signaux numériques en amplitude, en fréquence | T ^{ale} |
|---|--|------------------|

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

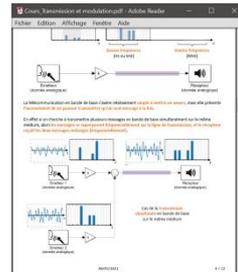
- Prérequis pour les élèves :
 - Notion de transmission numérique (en bande de base)

Ressources proposées

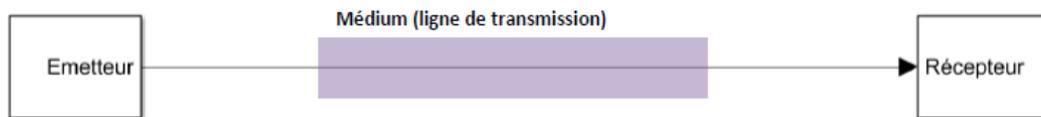
- Proposition de :
 - Cours sur la notion de modulation / démodulation
 - Activité de modélisation portant sur les modulations démodulations numériques
 - Modèles multiphysiques Matlab / Simulink associés
 - Proposition de matériel de prototypage



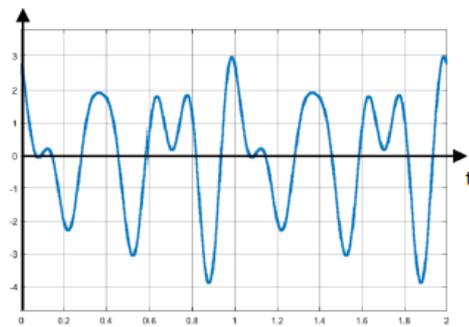
Extraits du cours



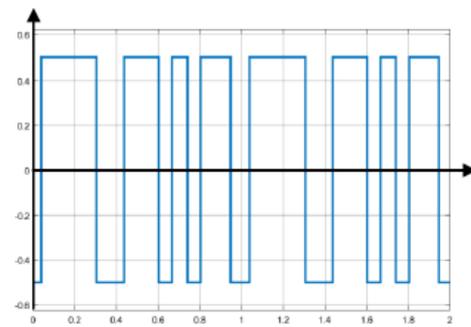
- Aborde la notion de canal de transmission :



- Décrit la nature de signaux à transmettre :

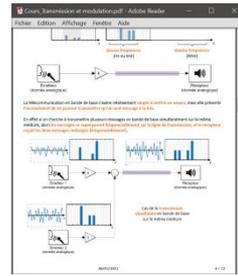


Signal analogique

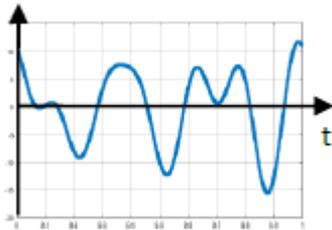


Signal numérique

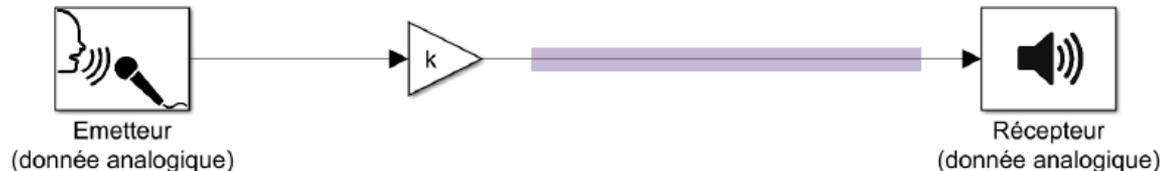
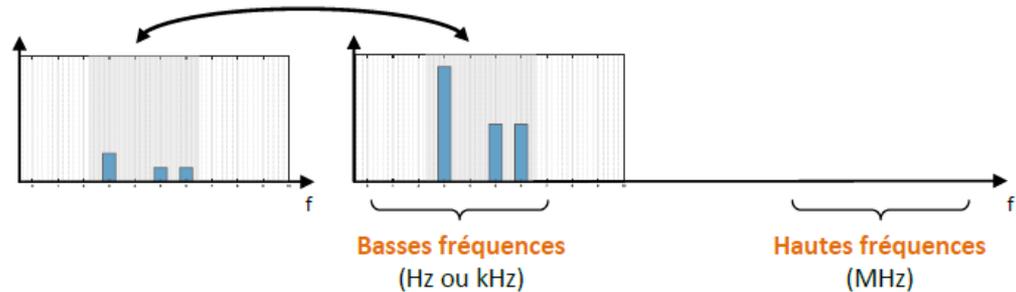
Extraits du cours



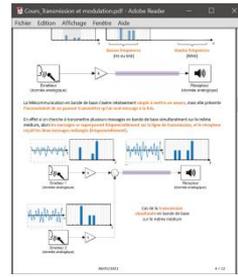
- Utilise des descriptions visuelles afin d'aborder :
 - l'aspect fréquentiel d'un signal (approche qualitative)
 - la notion de transmission en bande de base



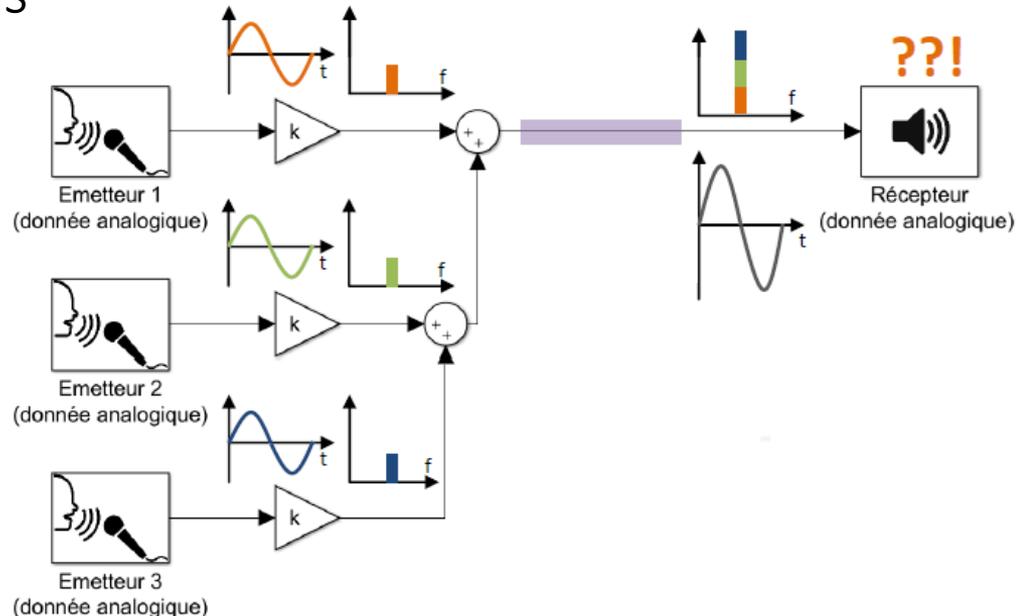
Bande de fréquence du signal d'origine = « **Bande de base** »



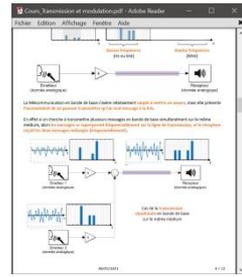
Extraits du cours



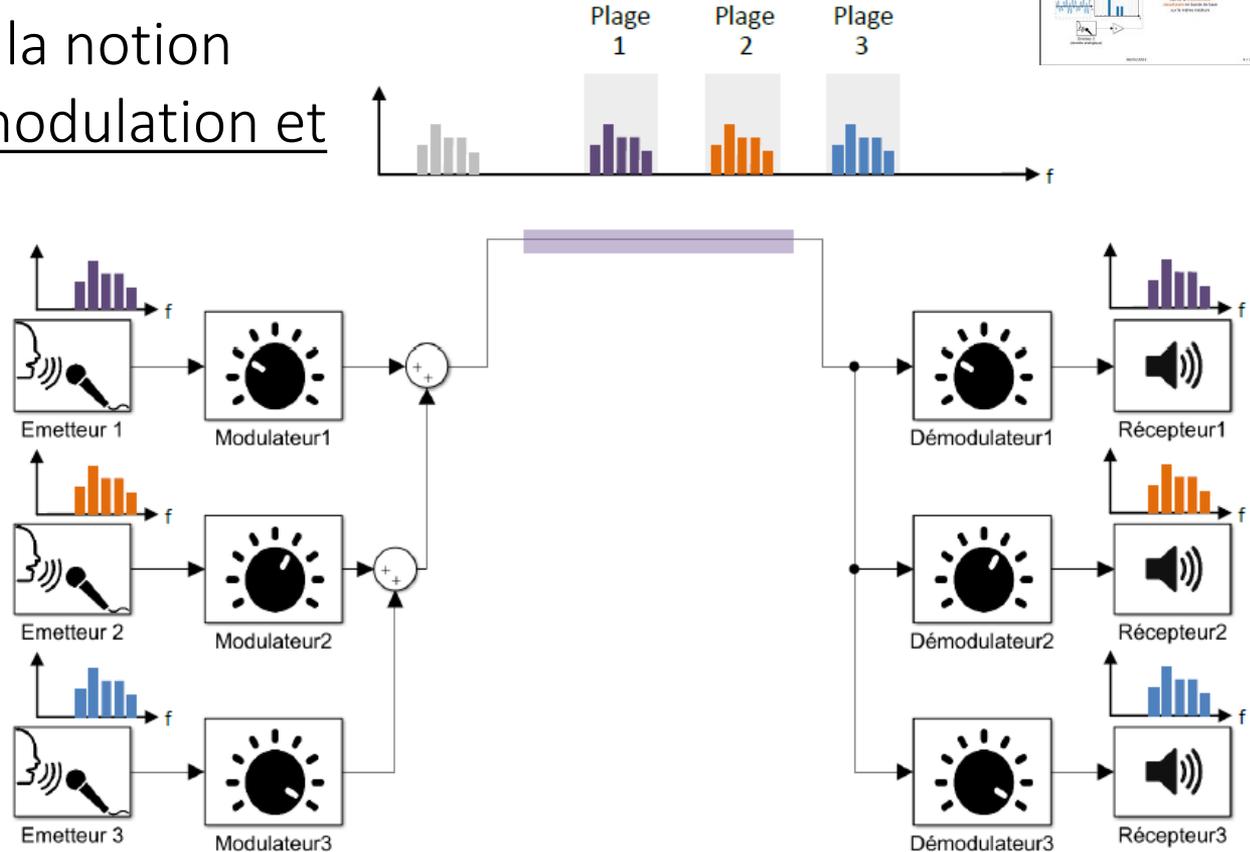
- Mise en évidence des inconvenients liés à la transmission en bande de base sous forme de nombreuses représentations visuelles :



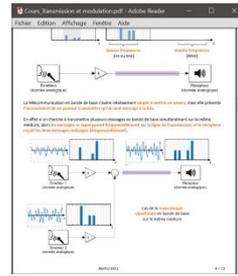
Extraits du cours



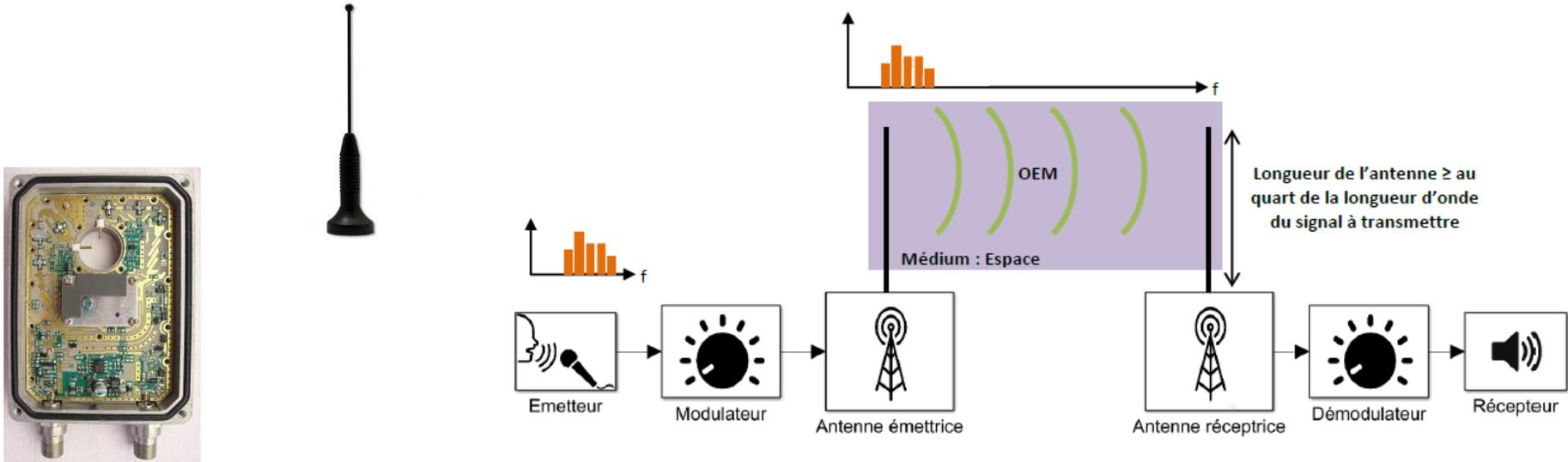
- Mise en évidence de la notion et de l'intérêt de la modulation et démodulation sous forme visuelle :



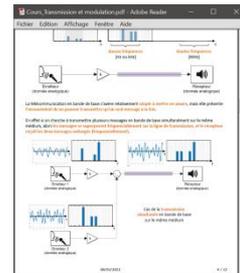
Extraits du cours



- 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) :

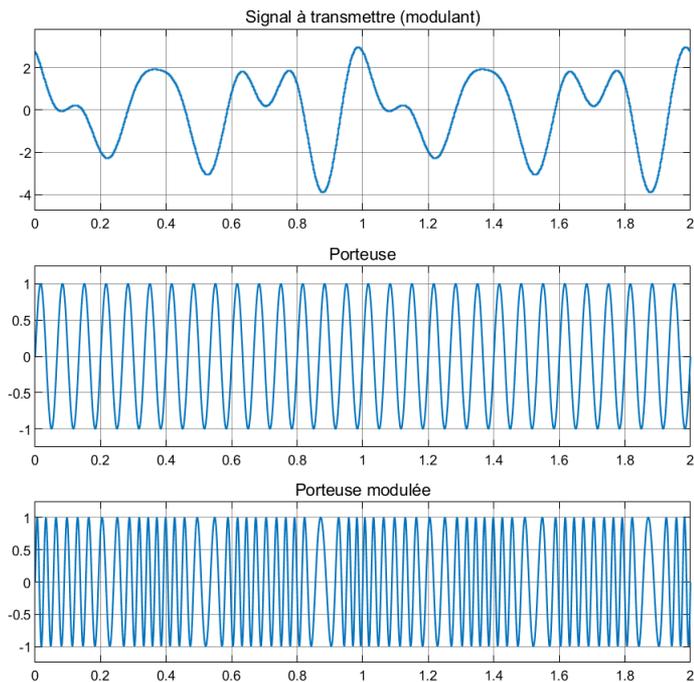


Extraits du cours

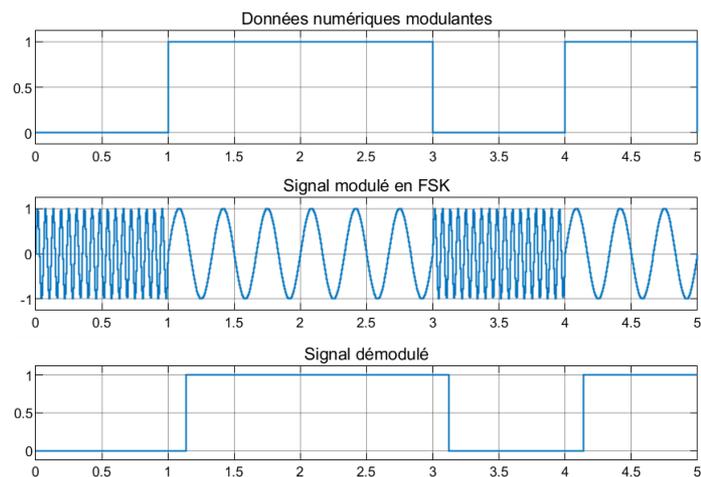


- Découverte de la notion de porteuse et de modulation :

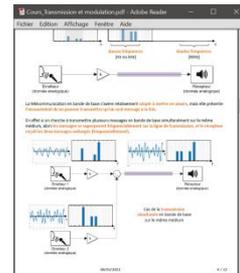
- Modulation analogique



Modulation numérique

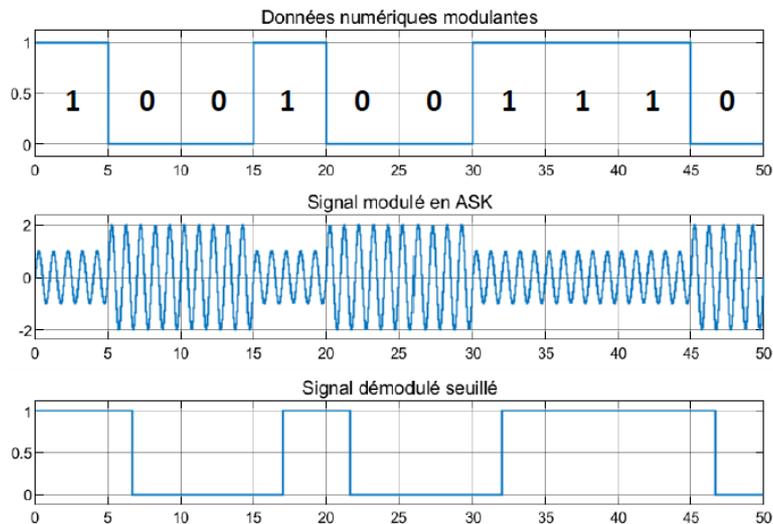


Extraits du cours

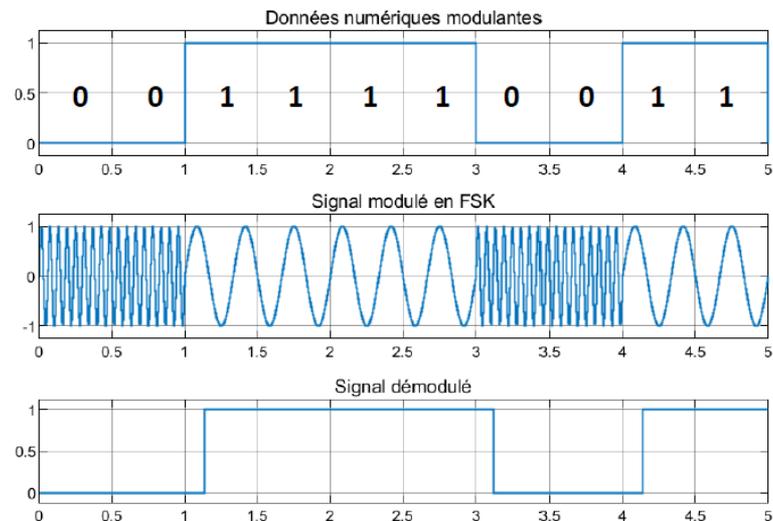


- Description des modulations numériques d'amplitude et de fréquence :

ASK



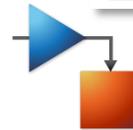
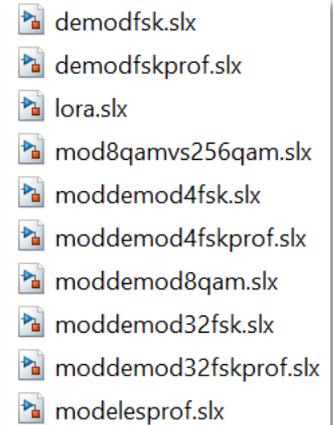
FSK



Activité de modélisation

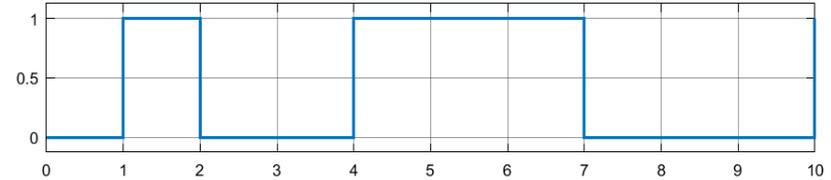
- L'objectif est ici de mettre en place des modèles Matlab Simulink pour différentes modulations numériques afin d'appréhender les notions de :

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

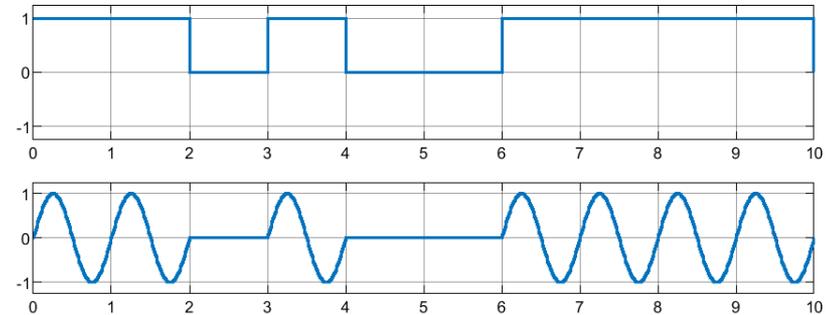
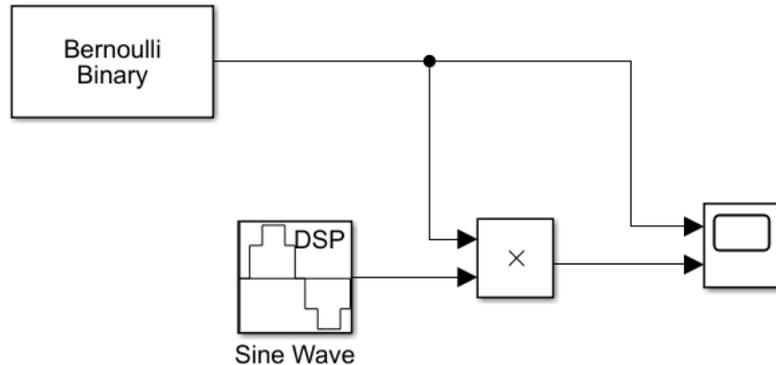


Extraits de l'activité de modélisation

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

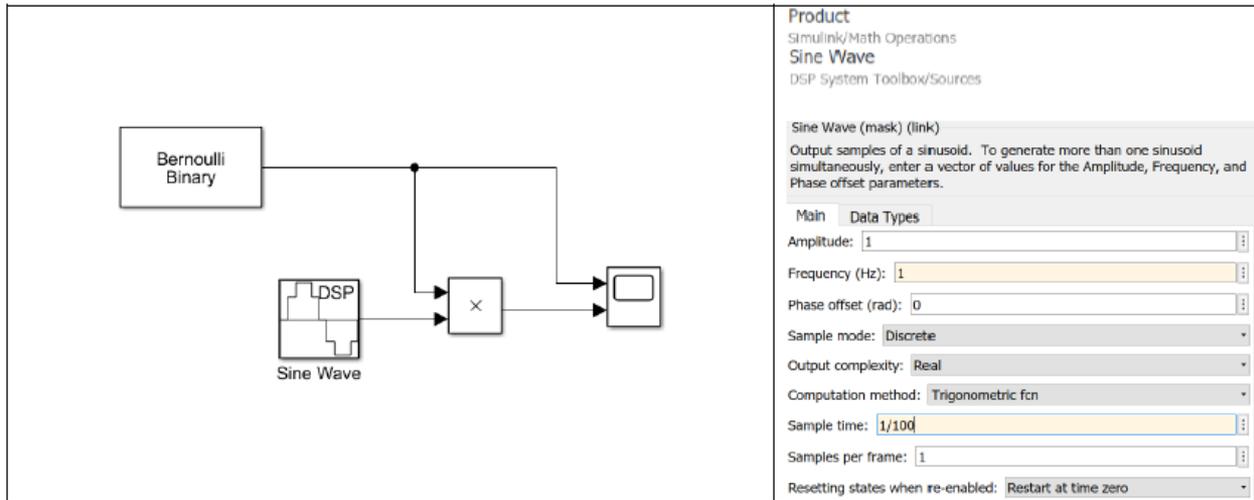


- Mise en place d'une modulation ASK / OOK par la saisie et la configuration du modèle :



Extraits de l'activité de modélisation

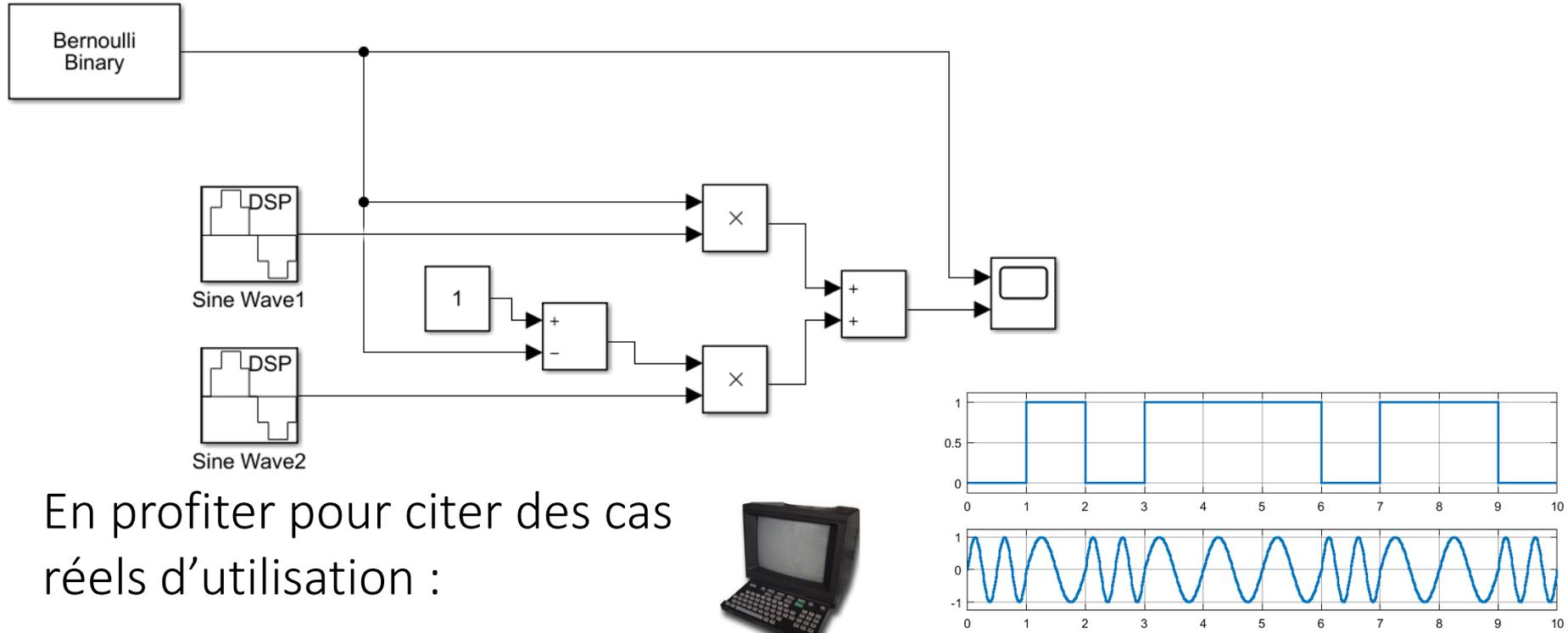
- La saisie et la configuration du modèle sont guidées :



- 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

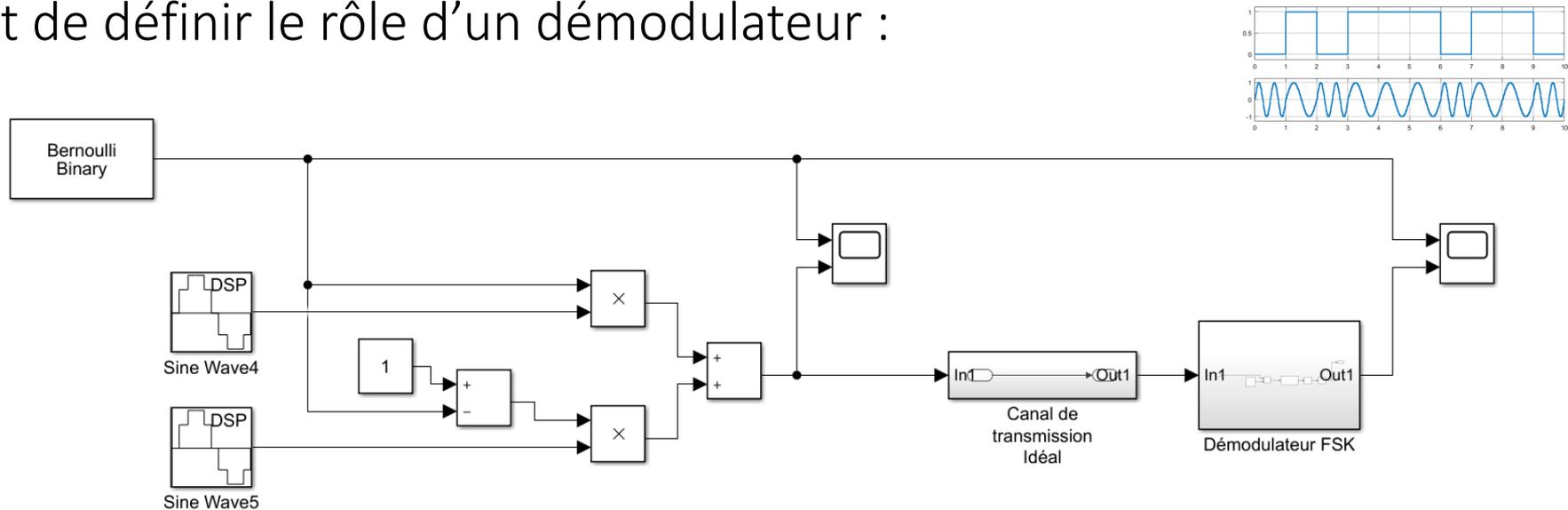


- En profiter pour citer des cas réels d'utilisation :



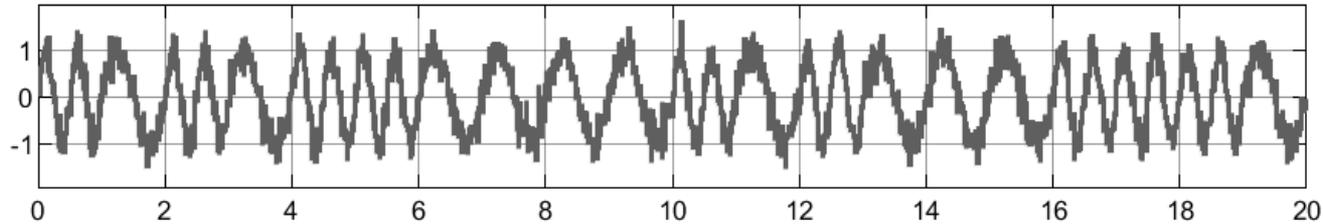
Extraits de l'activité de modélisation

- 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 :

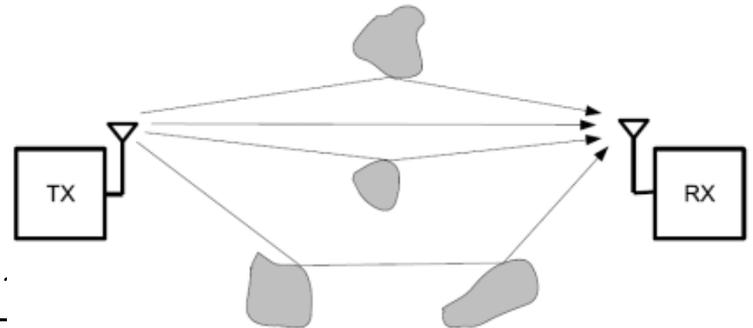


Extraits de l'activité de modélisation

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

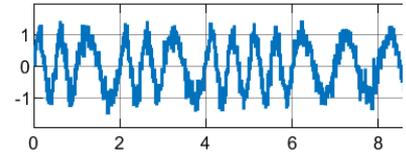
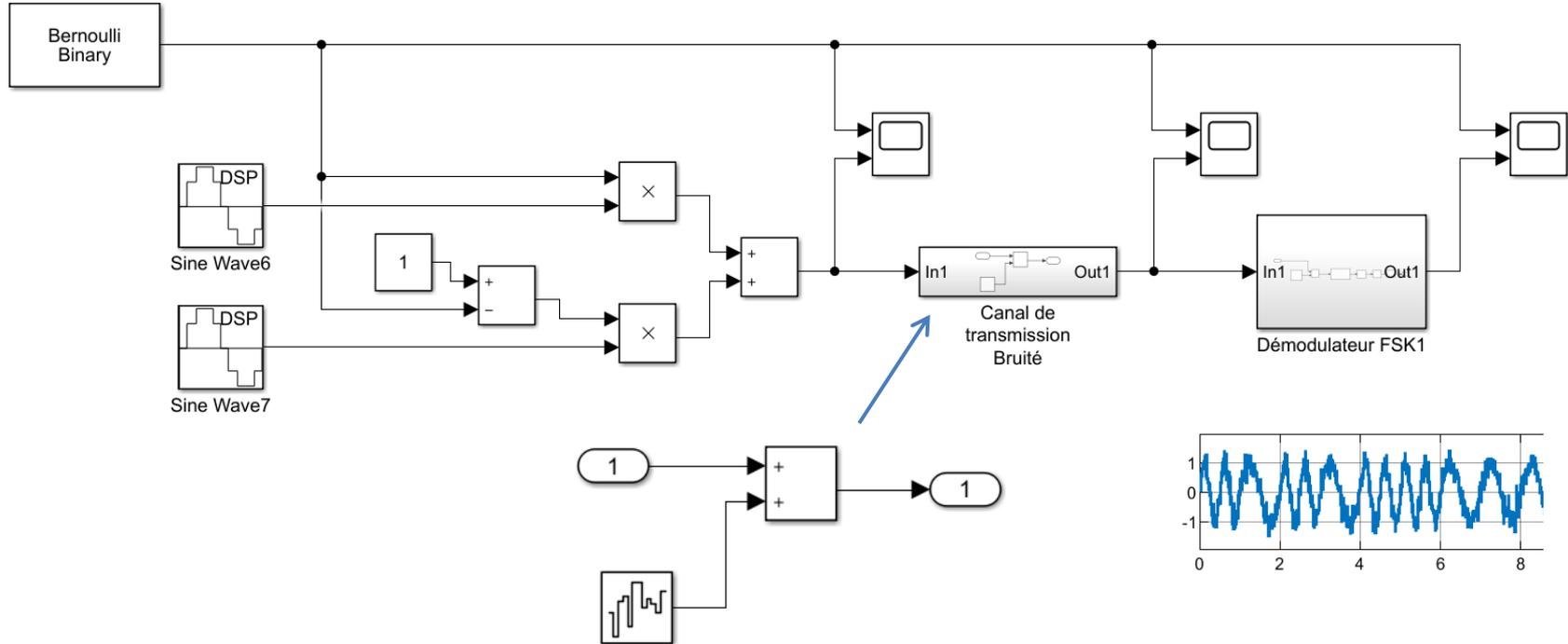


- Réflexions du signal : évanouissement
(non véritablement traité dans l'activité mais en lien avec le cours de Physique)
- Dur choix pour le démodulateur : 0 ou 1 ??



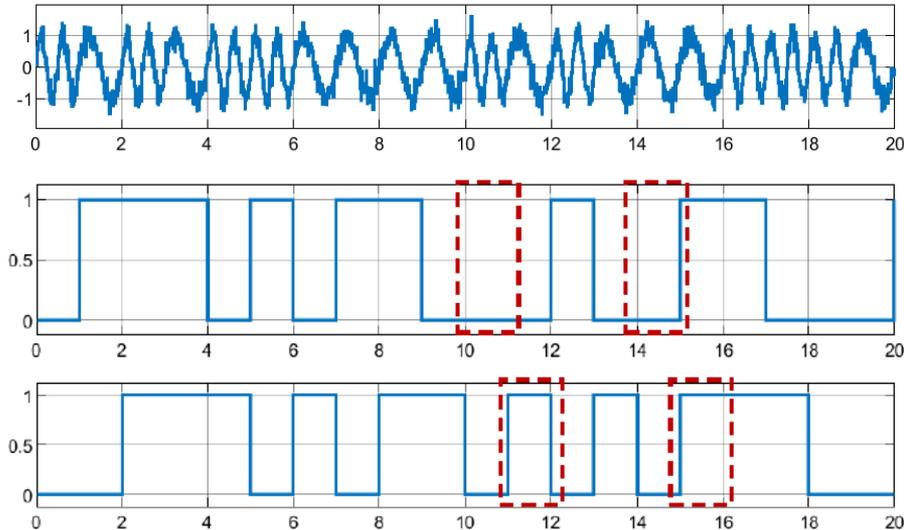
Extraits de l'activité de modélisation

- Ajout de bruit sur le canal de transmission :

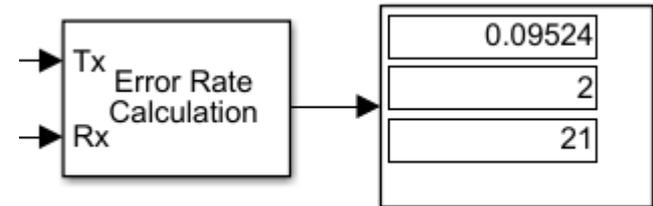


Extraits de l'activité de modélisation

- 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"

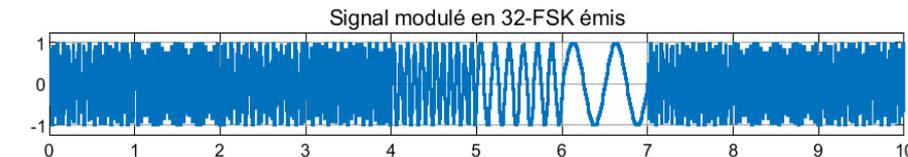
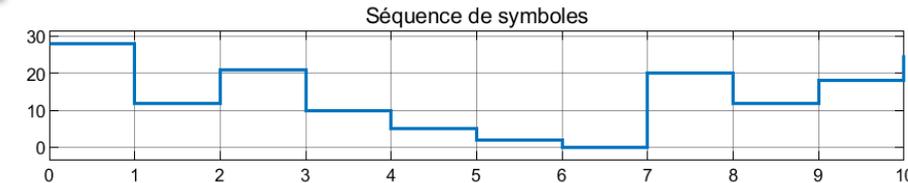
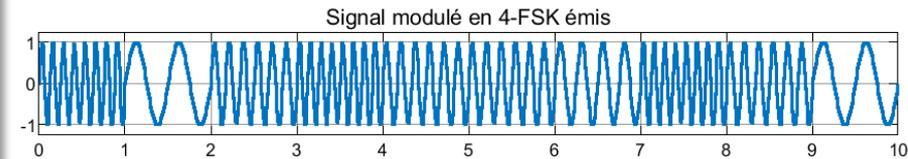
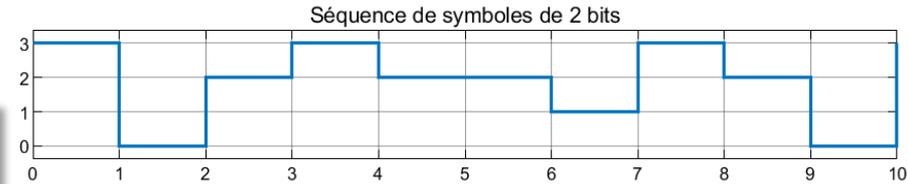
s3 = "10"

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, consisting of the text '4G' above a signal strength icon of four vertical bars of increasing height. On the right is the 5G logo, consisting 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 ?

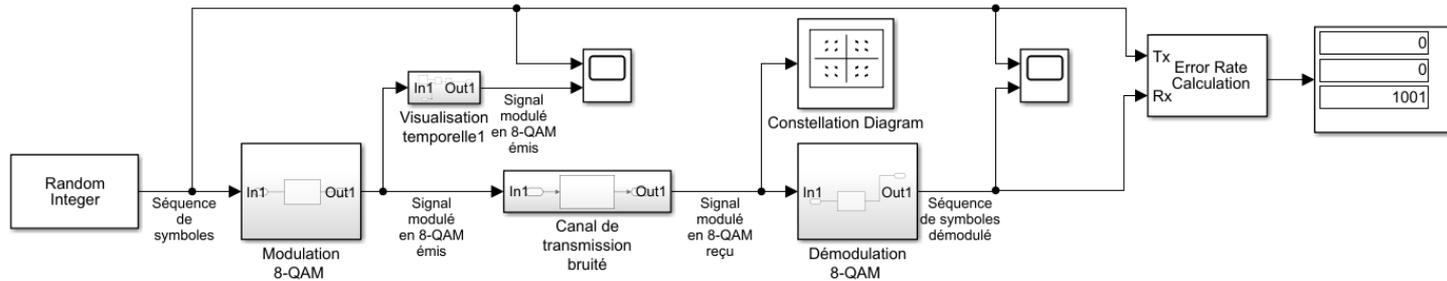
Dans les faits, cela permet de booster les débits. Le débit maximum théorique descendant sur le réseau Free Mobile en France passe ainsi de 337,5 Mbit/s (en 64 QAM) à 440,55 Mbit/s (en 256 QAM). Une augmentation de l'ordre de 30 %, ce qui est loin d'être négligeable.

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.

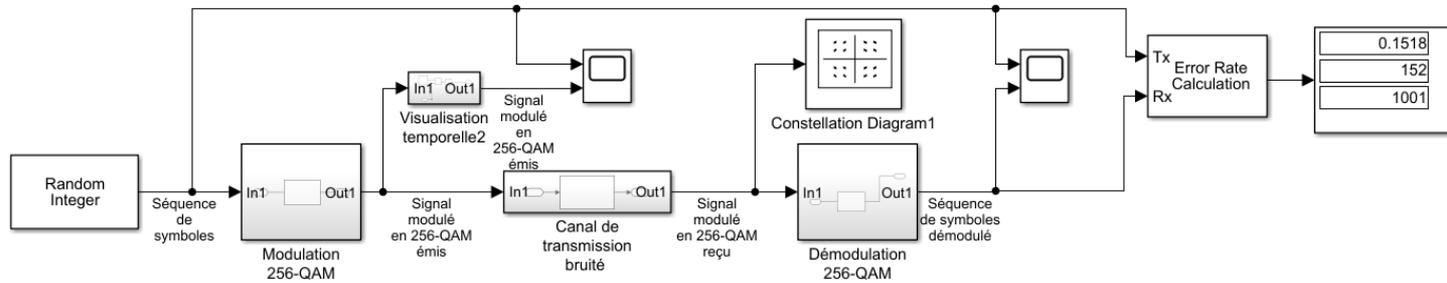
Extraits de l'activité (approfondissement)

- 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 !

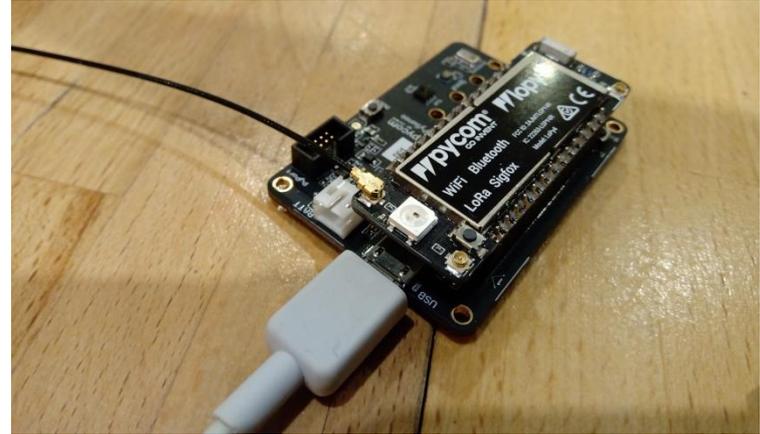
8-QAM vs 256-QAM
sur un canal bruité



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



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

Matériel de prototypage associé

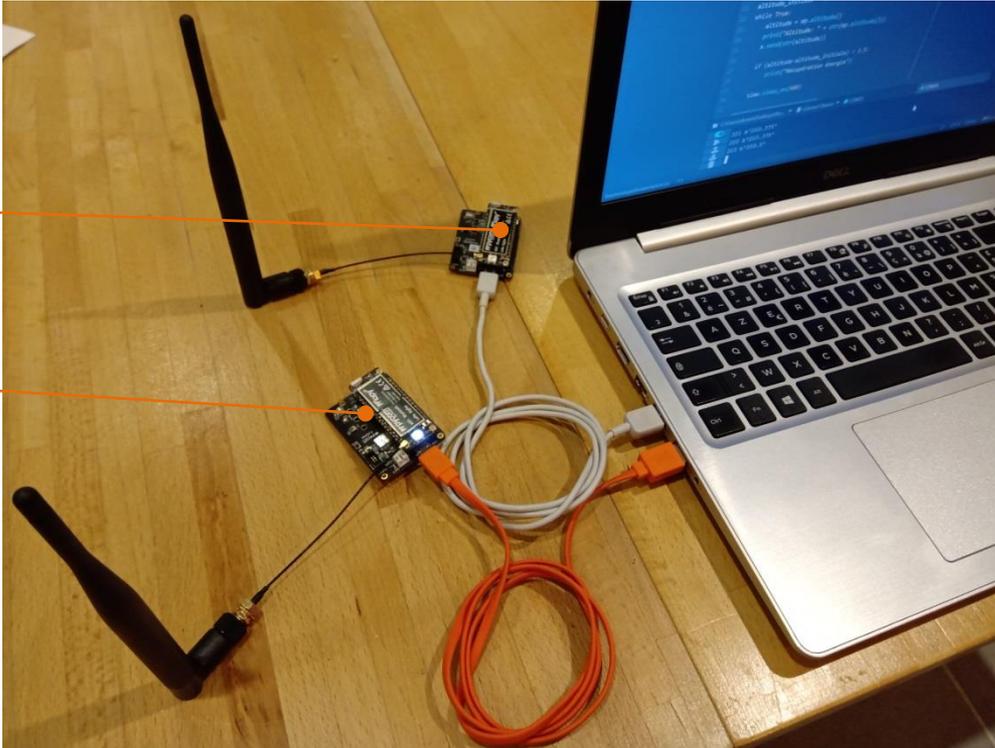
- Exemple de mise en place d'une communication Lora « bas niveau » (sans nécessité d'identification)

Carte émettrice

Carte réception



Analyseur RF environ 200€



Matériel de prototypage associé



- Programmation Python de la Lopy4 depuis l'IDE Atom avec le plugin Pymakr

Programme d'émission

Programme de réception

Téléversement des programmes dans les cartes

Affichage des données reçues

```
hauteurvagueiorareception.py — C:\Users\domin\Desktop\AtomProjets\Mesure — Atom
File Edit View Selection Find Packages Help

Project hauteurvagueiorareception.py Welcome Settings
  Mesure
  lib
  boot.py
  hauteurvague.py
  hauteurvagueiorareception.py
  main.py
  pymakr.conf

hauteurvagueiorareception.py
1 from network import LoRa
2 import socket
3 import time
4
5 lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, region=LoRa.EU868)
6 s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
7 s.setblocking(False)
8
9 i = 0
10 while True:
11     i = i + 1
12     print(i, str(s.recv(256)))
13     time.sleep_ms(500)
14

hauteurvagueiorareception.py
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

C:\Users\domin\Desktop\Ato... Connect Device COM25 COM26
421 b'203.3125'
422 b'203.3125'
423 b'203.3125'

hauteurvagueiorareception.py 1:1 LF UTF-8 Python Pymakr GitHub Git (0)
```

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

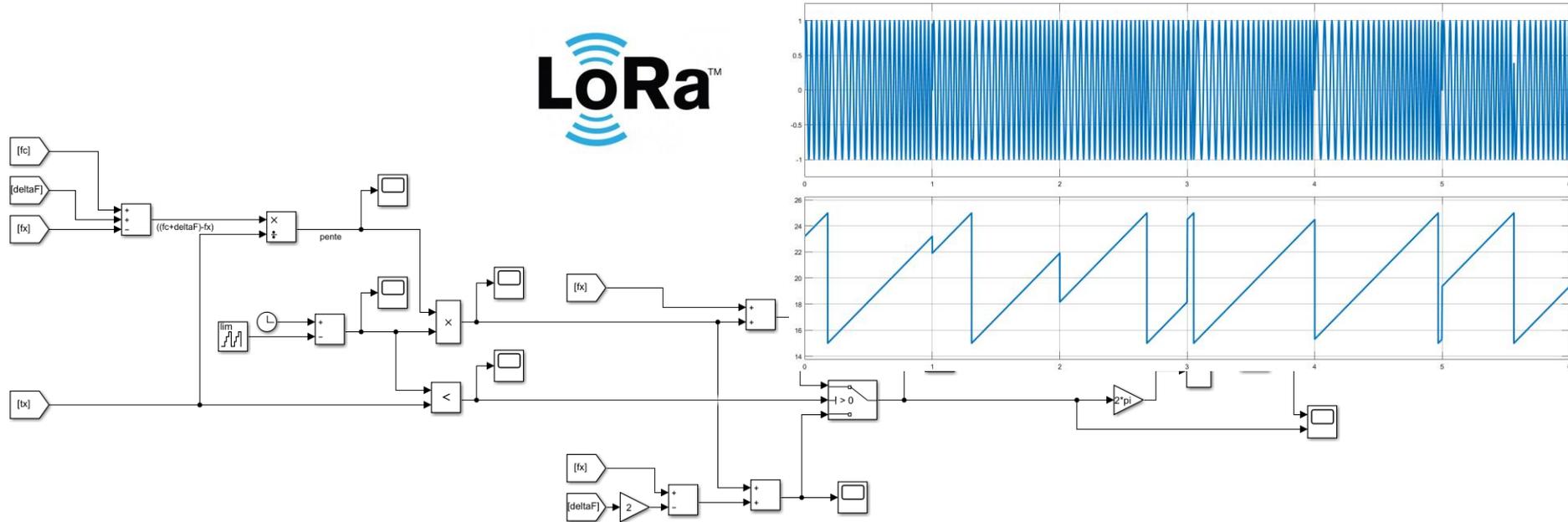
• NodeB.py

○ 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 !