

DOCUMENT DE CADRAGE DE LA SA13 :

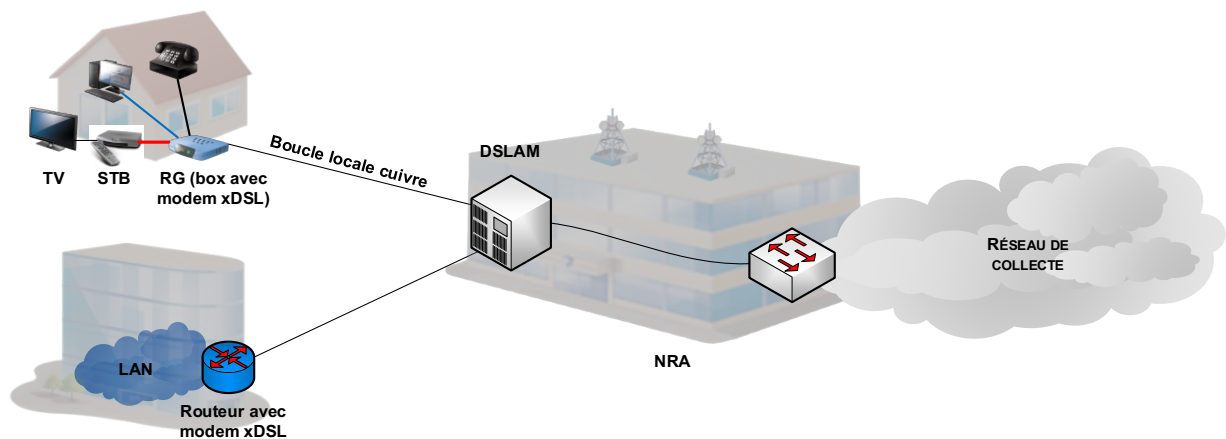
**MESURE AUTOMATIQUE DE LA REPOSE EN FREQUENCE
D'UN SYSTEME (CARTES SON)**

VERSION 1.0 DU 6 JANVIER 2022

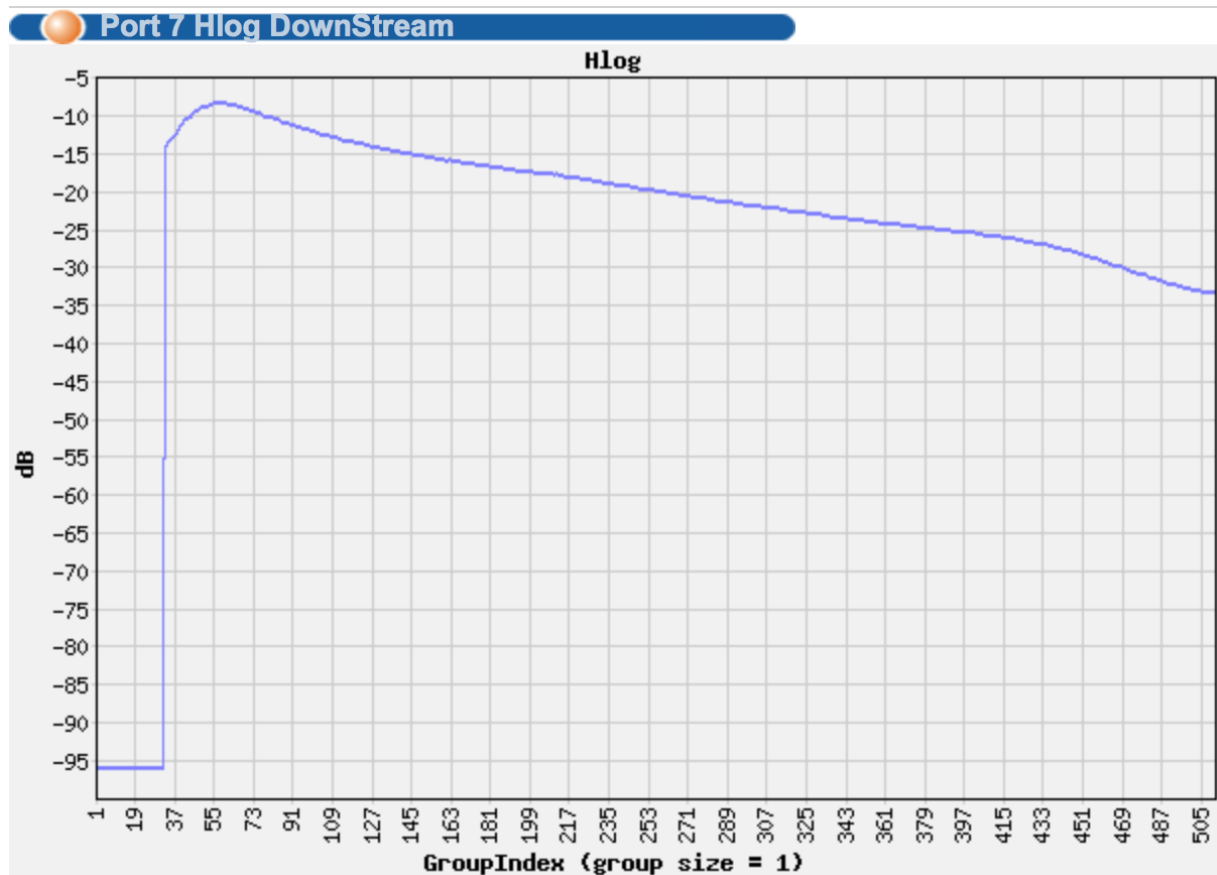
Introduction : un grand nombre de systèmes de transmission (ADSL, 3G/4G/5G, certificateur LAN, ...) caractérisent le support de transmission (paire torsadée, fibre optique ou transmission hertzienne) pour pouvoir adapter les paramètres du système de transmission au support. Cette caractérisation se fait notamment en mesurant la réponse en fréquence du système (système = support et cartes électroniques de l'émetteur et du récepteur).

Cette mesure consiste à émettre un signal sinusoïdal à différentes fréquences et avec une certaine amplitude, et à mesurer sur le récepteur l'amplitude du signal reçu. La réponse en fréquence correspond au tracé du gain H (défini comme le rapport de l'amplitude de la sinusoïde reçue $A_{reçue}$ sur l'amplitude de la sinusoïde émise $A_{émise}$: $H = \frac{A_{reçue}}{A_{émise}}$) ou de l'atténuation/perte A (défini comme le rapport de l'amplitude de la sinusoïde reçue $A_{émise}$ sur l'amplitude de la sinusoïde émise $A_{reçue}$: $A = \frac{A_{émise}}{A_{reçue}}$) en fonction de la fréquence. Le gain H ou l'atténuation A est généralement donné en dB dans le tracé.

Par exemple un DSLAM effectue cette mesure pendant la phase de synchronisation avec votre box ADSL pour décider des paramètres de la transmission et du débit que vous pourrez avoir compte tenu de la longueur de votre ligne :



On donne ci-dessous un exemple de résultat de cette mesure appelée Hlog (gain en dB) faite par un DSLAM, pour la bande descendante (138KHz-2208KHz), pour une ligne de 2Km de longueur utilisant la technologie de transmission ADSL2+. La réponse en fréquence est donnée en fonction de multiples de 4,3125KHz. La valeur 289 correspond donc à $289 \times 4,3125\text{KHz} = 1246\text{KHz}$.

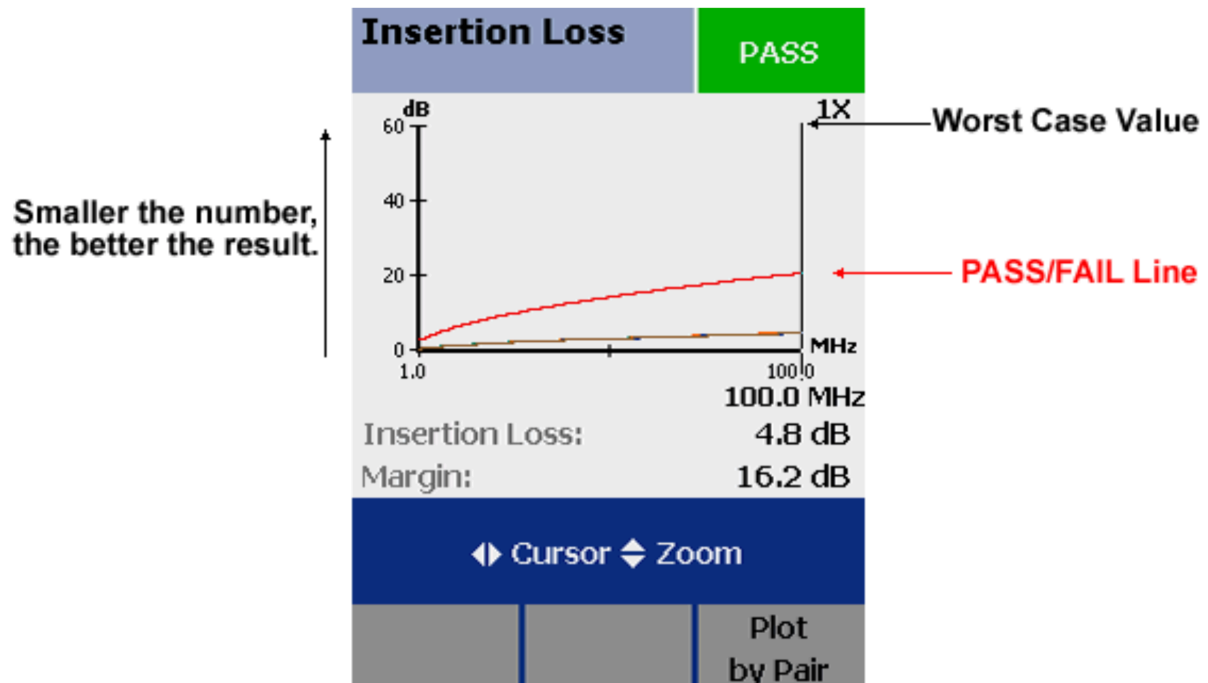


On donne ci-dessous un autre exemple de mesure réalisée par un certificateur de câble de réseaux informatiques LANtek :



Certificateur de câbles Lantek

La mesure appelée perte d'insertion « insertion loss » est faite sur un câble à paires torsadées catégorie 5 (bande de fréquences de 0-100MHz). La ligne du haut en rouge (PASS/FAIL) indique la valeur d'atténuation maximale à ne pas dépasser pour que le câblage soit certifié catégorie 5.



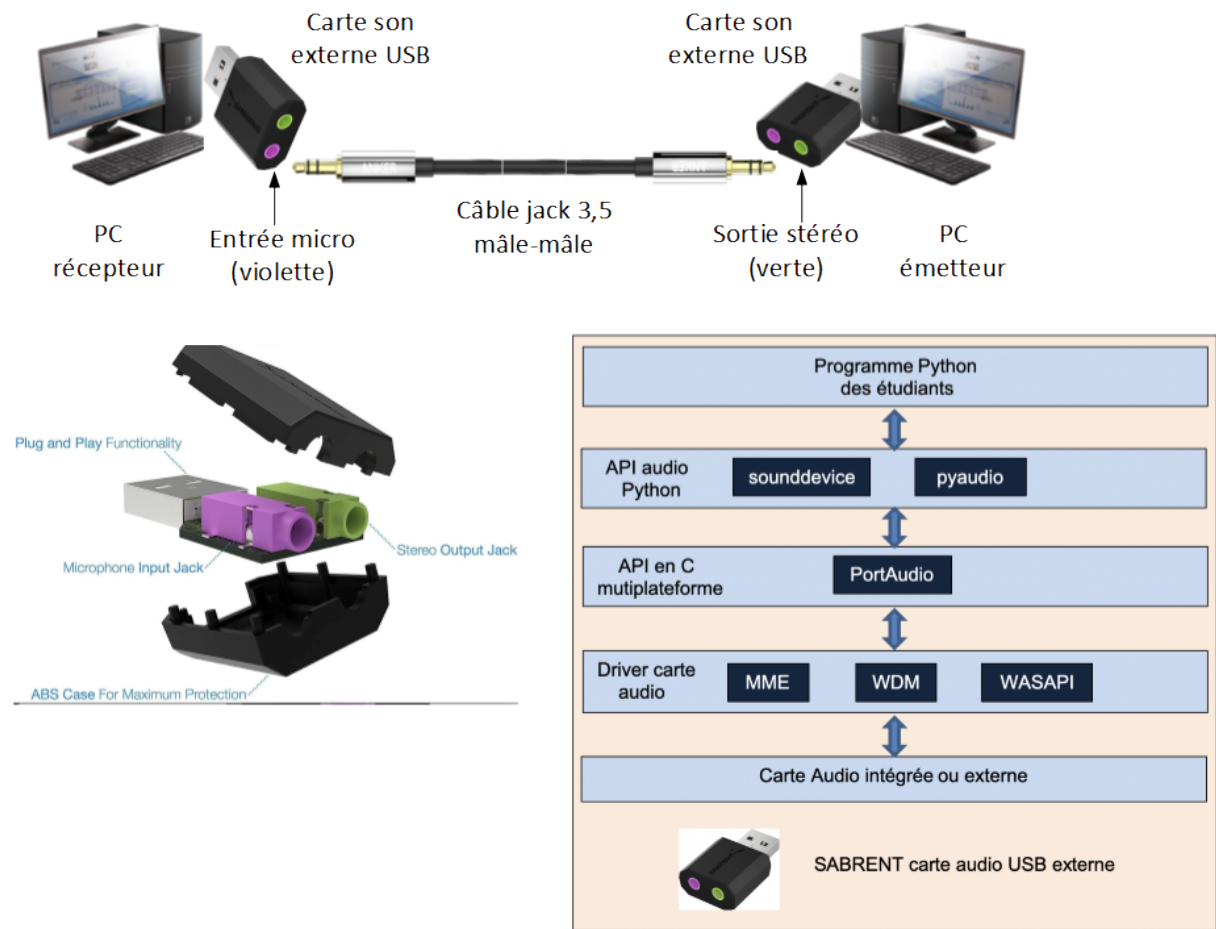
Mesure de la réponse en fréquence des 4 paires d'un câble réseau catégorie 5 (bande de fréquence 0-100MHz) par un certificateur de câblage LAN

Objectifs : Pour illustrer la mise en œuvre de ce type de mesures, cette SAE vous propose d'effectuer la mesure de la réponse en fréquence d'un système de transmission entre 2 PC via les cartes son.

A l'aide d'un programme en Python, on émettra donc un signal sinusoïdal à différentes fréquences et avec une certaine amplitude sur la carte son d'un PC émetteur (carte son externe USB), et on mesurera l'amplitude du signal reçu sur la carte son d'un PC récepteur.

La librairie numpy utilisée en traitement du signal permettra de créer le signal sinusoïdal, la librairie sounddevice permettra d'émettre et recevoir ce signal sur les cartes son et la librairie matplotlib permettra d'effectuer le tracé de la réponse en fréquence à partir des mesures réalisées.

Un schéma illustrant le principe de la mesure est donné ci-dessous :



Rendus : pour cette SAE vous devrez réaliser des notebooks Jupiter avec vos programmes. Ces notebooks serviront pour une évaluation intermédiaire et à la *présentation orale* finale faite à un enseignant (10 minutes de présentation et 10 minutes de questions).

La *présentation orale* présentera le résultat de vos mesures, le fonctionnement de vos programmes (sur le PC émetteur et récepteur), les difficultés que vous avez pu rencontrer lors des mesures et les calculs sur la précision de la mesure.

Planning prévisionnel : cette SAE se déroule sur 8 jours et le planning prévisionnel du travail à réaliser pour cette SAE est indiqué ci-dessous :

Date (janvier 2022)	Volume horaire	Travail à réaliser en séance	Encadrant
12-14 janvier	CM 6h TP 12h	Cours (SC) et TP sur la programmation avec Python et sur les notebooks Jupyter (finir les TP le week-end si vous avez du retard)	SC, WG , LB, BB
Lundi 17 janvier	CM 3h matin	3h00 de cours sur les librairies pour le traitement du signal numpy, matplotlib et sounddevice	SC
	TP 3h après-midi	TP sur les librairies pour le traitement du signal	SC, WG, LB
Mardi 18 janvier	Projet 8h	Écriture d'un programme pour la transmission, réception et visualisation d'un signal sinusoïdal avec les cartes son Écriture d'un programme Python pour la mesure de la fréquence et de l'amplitude de la sinusoïde reçue sur le PC récepteur	Aucun
Mercredi 19 janvier	TP 3h matin	Finalisation des programmes de la journée précédente Évaluation intermédiaire du travail réalisé. Rendu de la version intermédiaire des notebooks	SC, WG ou BB
	Projet 4h après-midi	Mesure manuelle de la réponse en fréquence des cartes son Tracé du résultat de la mesure	Aucun
Jeudi 20 janvier	TP 3h matin	Finalisation des mesures précédentes et du tracé Début du calcul sur la précision de la mesure	SC, WG ou BB
	Projet 4h après-midi	Fin du calcul de la précision de la mesure	Aucun
Vendredi 21 janvier	Projet 4h	Finalisation du travail et préparation de l'oral de présentation	Aucun
	TP 3h30	Présentation orale du travail réalisé (en groupe de TP : 3 enseignants)	SC, WG ou BB

Planning prévisionnel de la SAE 13

Détails du travail à réaliser en séances de projet

Séance du mardi 18 janvier et mercredi 19 janvier matin (8h de projet et 3h de TP) :

1. Écrire un programme pour la création d'un signal sinusoïdal avec numpy (vous choisirez une fréquence entre 1 et 10KHz) et émission de ce signal sur la carte son avec la librairie sounddevice. Vous choisirez de plus le temps d'émission sachant qu'il faudra recevoir et visualiser ce signal sur le PC récepteur.
2. Écrire un programme pour la réception (avec la librairie sounddevice) et la visualisation (avec la librairie Matplotlib) du signal sinusoïdal sur le PC récepteur. Vous choisirez la durée de visualisation.
3. Tester la visualisation de la sinusoïde sur le PC récepteur et choisir l'amplitude de la sinusoïde : amplitude dans le programme et niveau de la barre de son du PC.
4. La fiche ressource 1 est un extrait d'un article de recherche en anglais sur les algorithmes de mesure de fréquence. Pour simplifier son analyse, on a surligné en rose le passage expliquant la méthode la plus simple pour mesurer la fréquence d'un signal périodique. Lire et comprendre l'algorithme indiqué.
5. Écrire un programme pour implémenter cet algorithme.
6. Tester l'algorithme.
7. Choisir d'une façon de déterminer l'amplitude de la sinusoïde reçue et implémentation dans votre programme.
8. Tester la mesure d'amplitude.

Séance du mercredi 19 janvier après-midi (4h de projet) :

1. Trouver sur Internet la plage de fréquences des signaux audio et choisir une dizaine de valeurs de fréquences pour effectuer la mesure de la réponse en fréquence des cartes son.
2. Effectuer manuellement la mesure de la réponse en fréquence des cartes son à l'aide de vos programmes sur le PC émetteur et récepteur.
3. Tracer le résultat avec le gain en dB et avec une échelle en fréquence linéaire et semi-log (en expliquant l'intérêt de cette dernière) à l'aide de la librairie matplotlib.
4. Trouver sur Internet la définition de la fréquence à -3dB et préciser la(les) fréquence(s) de coupure pour ce système.
5. Rendre vos notebooks sur Moodle entre 11h30 et 12h30 sous forme d'une archive.

Séance du jeudi 20 janvier (3h de TP et 4h de projet) :

1. On suppose que la fréquence d'échantillonnage f_{ech} de la carte son en réception est un multiple de la fréquence f_0 de la sinusoïde $f_{ech} = N.f_0$ et qu'on a mesuré l'amplitude de la sinusoïde reçue et prélevant la valeur maximale de la sinusoïde sur une période. A l'aide de la fiche ressource FR2, faire un dessin (d'abord sur un papier puis dans votre notebook) du signal analogique sinusoïdal et du signal échantillonné pour le cas le plus favorable et défavorable pour la précision de la mesure d'amplitude.
2. En déduire l'erreur de mesure d'amplitude en % pour le cas le plus défavorable en fonction de N. Effectuer une application numérique dans les 2 cas suivants :
 - On a une sinusoïde de fréquence 1KHz et une fréquence d'échantillonnage de 192KHz
 - On a une sinusoïde de fréquence 20KHz et une fréquence d'échantillonnage de 192KHz
3. On suppose que la durée de mesure t_{mes} de la fréquence f_0 de la sinusoïde (période t_0) est comprise entre $(N+1/2).t_0 < t_{mes} < (N+1).t_0$. Faire un dessin (d'abord sur un papier puis dans

vosre notebook avec matplotlib) en indiquant la durée de mesure la plus favorable t_{fav} (erreur minimale) et le cas le plus défavorable t_{def} (erreur maximale) pour la mesure de fréquence.

4. En déduire l'erreur de mesure de fréquence en % pour le cas le plus défavorable en fonction de N. Indiquer la fréquence maximale que vous pouvez trouver pour la durée de mesure que vous avez utilisée et pour la sinusoïde à 10KHz.
5. Vérifier avec des tests.
6. En regardant dans la fiche FR1 la partie surlignée en vert, indiquer la problématique sur la précision de la mesure de fréquence si le signal est bruité. Indiquer quel élément peut être utilisé pour régler ce problème (même si on perd en précision sur la phase) et expliquer à l'aide d'Internet le fonctionnement de cet élément.

Nombre d'étudiants par groupe de SAE : 2 étudiants

Enseignants responsables : Willy Guillemain (WG : willy.guillemain@uvsq.fr), Sylvain Chevallier (SC : sylvain.chevallier@uvsq.fr), Luc Bondant (LB : luc.bondant@uvsq.fr), Bastien Bechadergue (BB : bastien.bechadergue@uvsq.fr).

Salles pour la SAE :

Pour les séances de projet vous utiliserez les salles de TP suivantes :

- Groupe A : salle E50 (2 enseignants)
- Groupe B : salle E47 (1 enseignant)

Ressources concernées : les ressources qui vous aideront à réaliser ce travail sont :

- R104 : fondamentaux des systèmes électroniques
- R113 : Mathématiques du signal
- R114 : Mathématiques des transmissions
- Ressource locale pour la SAE (sur 3 jours) : Programmation Python et notebook Jupyter
- FR1 Fiche ressource 1 : Algorithme de mesure de fréquence
- FR2 Fiche ressource 2 : principe de fonctionnement de la numérisation

Notation :

Vous aurez 3 notes pendant cette phase de SAE :

- 1 note sur votre travail en séance de TP sur Python
- 1 note intermédiaire sur la SAE
- 1 note de présentation orale sur le travail réalisé en SAE

La moyenne de la SAE sera constituée comme indiqué ci-dessous :

75% (15% note TP Python + 35% note intermédiaire SAE + 50% note présentation orale SAE) + 25% ($5/21 \times R104 + 8/21 \times R113 + 8/21 \times R114$).

FICHE D'EVALUATION DES TP PYTHON

Membres du binôme :

.....

Barème (en % du nombre de points) :

1 : mauvais (0-20%)

2 : inférieur au niveau attendu (20-40 %)

3 : Niveau attendu (40 à 60 %)

4 : Très bon, supérieur au niveau attendu (60 à 80 %)

5 : Excellent (80 à 100 %)

Maitrise des bases de Python (structures de données, contrôle d'exécution, ...) ? (12 points).

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

☐ Pas évaluable Etudiant 1 :

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

☐ Pas évaluable Etudiant 2 :

Implication dans les TP. (8 points)

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

☐ Pas évaluable Etudiant 1 :

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

☐ Pas évaluable Etudiant 2 :

Note proposée et commentaires :

20

Remarque : vous pouvez ne pas mettre de note (NE pour Non Evaluable) si vous pensez que le travail est difficilement évaluable ou mettre une fourchette de note.

FICHE D'EVALUATION DE LA SEANCE INTERMEDIAIRE

Membres du binôme :
.....

Barème (en % du nombre de points) :

- 1 : mauvais (0-20%)
- 2 : inférieur au niveau attendu (20-40 %)
- 3 : Niveau attendu (40 à 60 %)
- 4 : Très bon, supérieur au niveau attendu (60 à 80 %)
- 5 : Excellent (80 à 100 %)

Le binôme a-t-il réalisé toutes les tâches indiquées (8 points) ?

☐ 0 à 20% ☐ 20 à 40% ☐ 40 à 60% ☐ 60 à 80% ☐ 80 à 100%

Qualité du code et des explications (12 points).

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Note proposée et commentaires :

20

Remarque : vous pouvez ne pas mettre de note (NE pour Non Evaluable) si vous pensez que le travail est difficilement évaluable ou mettre une fourchette de note. Deux étudiants du même binôme peuvent avoir des notes différentes.

FICHE D'EVALUATION DE LA SOUTENANCE ORALE

Membres du binôme :

.....

Barème (en % du nombre de points) :

1 : mauvais (0-20%)

2 : inférieur au niveau attendu (20-40 %)

3 : Niveau attendu (40 à 60 %)

4 : Très bon, supérieur au niveau attendu (60 à 80 %)

5 : Excellent (80 à 100 %)

Le binôme a-t-il réalisé toutes les tâches indiquées (8 points) ?

☐ 0 à 20% ☐ 20 à 40% ☐ 40 à 60% ☐ 60 à 80% ☐ 80 à 100%

Qualité du code et des explications (12 points).

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Note proposée et commentaires :

20

Remarque : vous pouvez ne pas mettre de note (NE pour Non Evaluable) si vous pensez que le travail est difficilement évaluable ou mettre une fourchette de note. Deux étudiants du même binôme peuvent avoir des notes différentes.