

REDOCS 2023 : Localiser la capture d'une vidéo via l'ENF

- À la rescousse du Chef Jérôme

Lucas Georget, Thomas Prévost, Antoine Mallet, Rony Abecidan

Encadrement : Pierrick Buret

REDOCS



Notre équipe



Lucas Georget



Thomas Prévost



Antoine Mallet



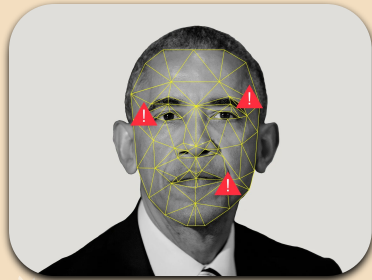
Rony Abecidan



La Mission ReDocs

À partir d'un support vidéo/audio

Authentifier le contenu



Localiser le lieu d'enregistrement



11:15 pm

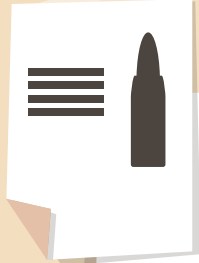


Warning

Nous ne sommes pas des experts juridiques, les informations dans ce domaine peuvent être inexactes !

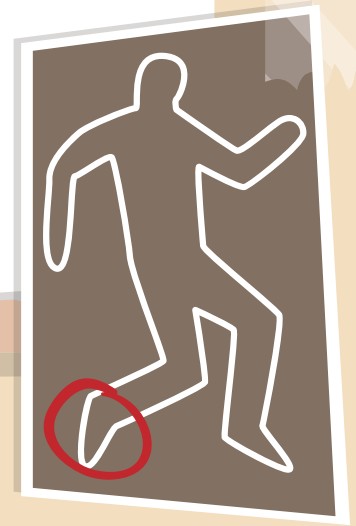
Toutefois, nous résumons le cheminement de l'enquête menant à l'expertise scientifique, coeur de cette présentation.





HOW?!

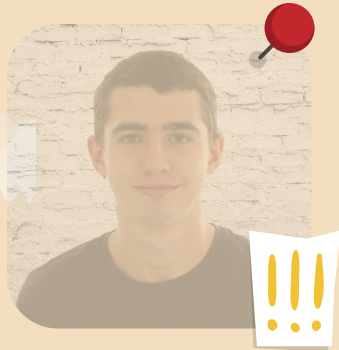
Début de l'enquête...



Notre équipe



Lucas



Thomas



Antoine



Rony

Enquêteur
judiciaire

Étude de cas : La disparition du chef Jérôme



MISSING

11:15 pm



Déroulement de l'enquête

Contact
entourage

Contact
opérateur

Fouille matériel
numérique

Déroulement de l'enquête

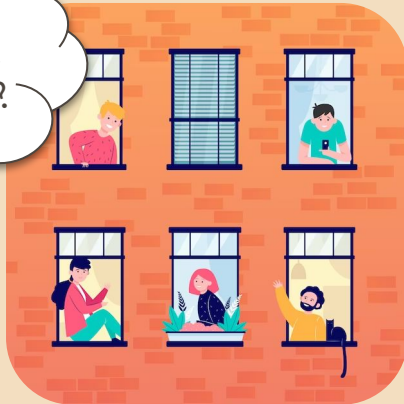
Contact
entourage

Recherche d'informations
sur la victime

Contact
opérateur

Fouille matériel
numérique

Quelqu'un a
vu Jérôme ?



Déroulement de l'enquête

Contact
entourage

Recherche d'informations
sur la victime

Contact
opérateur

Dernières activités de la
victime

Fouille matériel
numérique

Quelqu'un a
vu Jérôme ?



Déroulement de l'enquête

Contact
entourage

Recherche d'informations
sur la victime

Contact
opérateur

Dernières activités de la
victime

Fouille matériel
numérique

Identification de la
victime

Quelqu'un a
vu Jérôme ?



Notre équipe



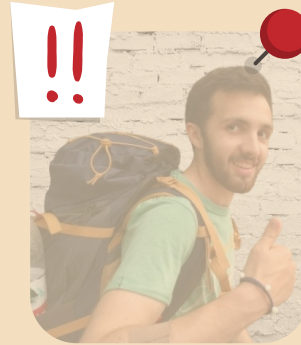
Lucas

Enquêteur
judiciaire



Thomas

Spécialiste
informatique
opérationnel



Antoine



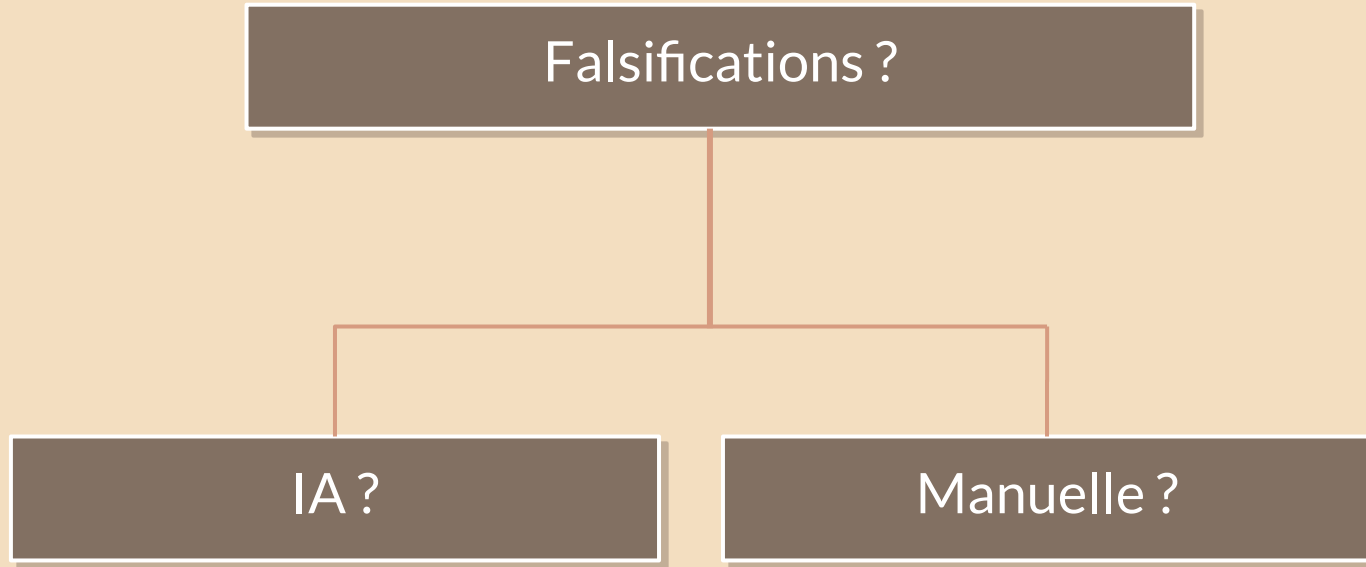
Rony

Manipulation des **données**

- Copie sur supports
- Observation du contenu



Méthodologie : Intégrité preuve numérique



Méthode du pouls [1]



📌
Détection d'un
pouls **incohérent**
par l'analyse vidéo

Mesure du pouls



11:15 pm



FAKE

Mesure du pouls



11:15 pm

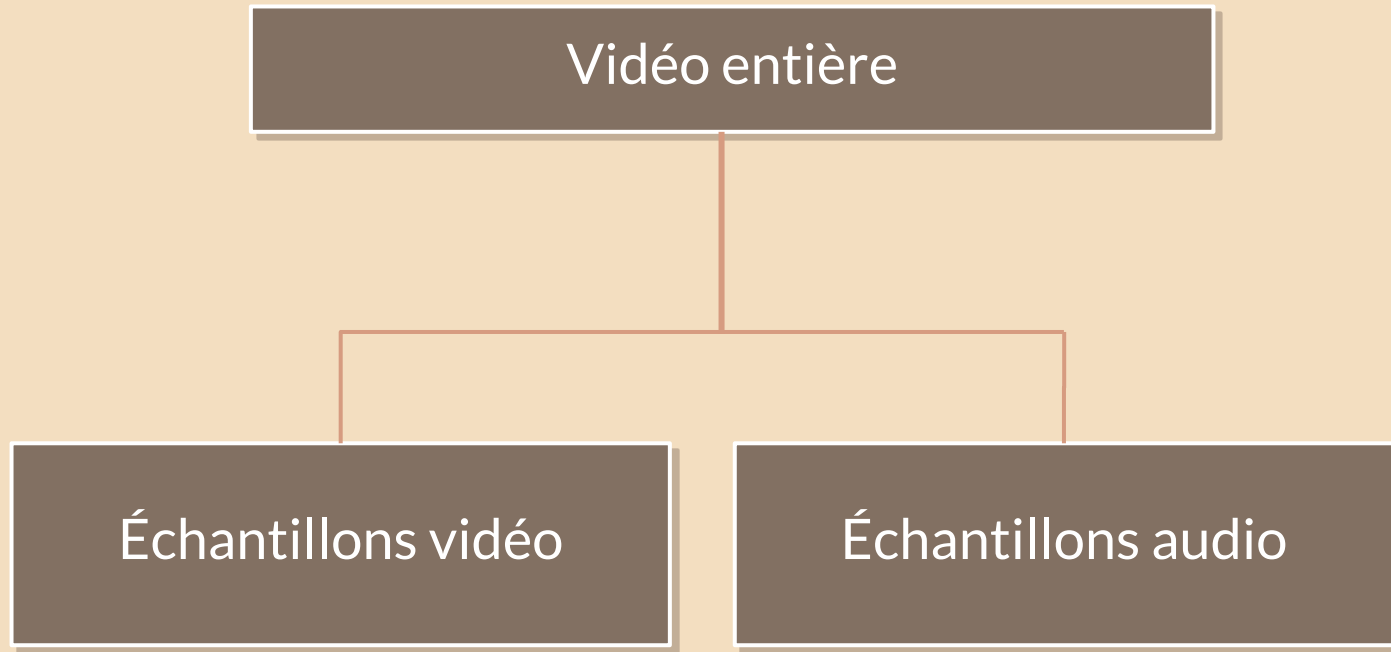


Préparation des **données**

- Pré-traitement
- Pré-analyse



Méthodologie : recherche parties utiles



Nettoyage données : échantillons vidéo

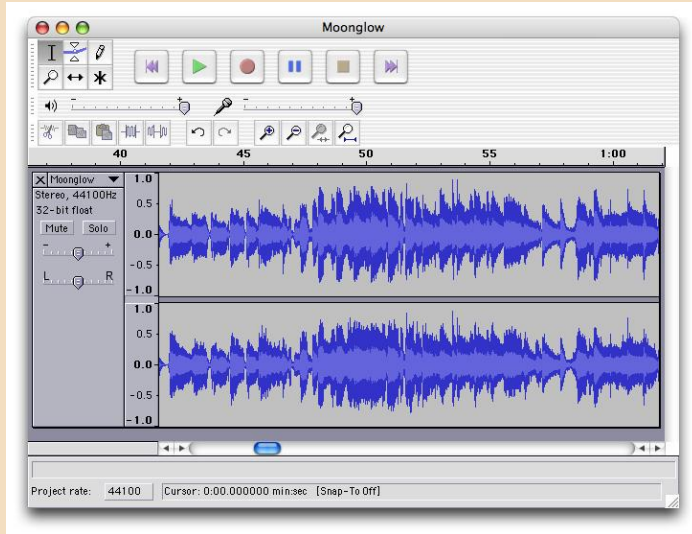


Suppression transitions
floutées

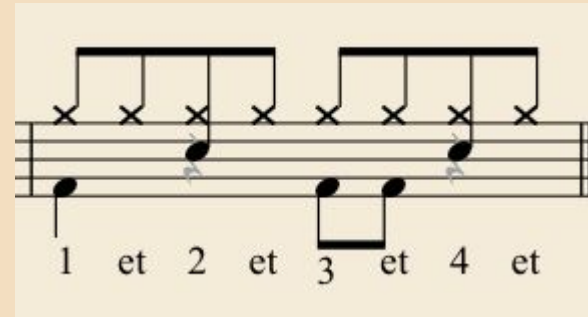


Suppression générique

Nettoyage données : échantillons audio



Suppression
jingles/transitions



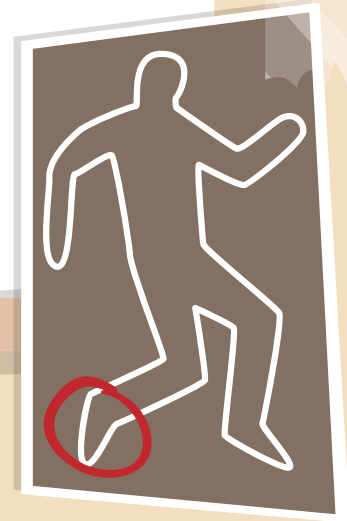
Suppression séquences
avec musique (basses)



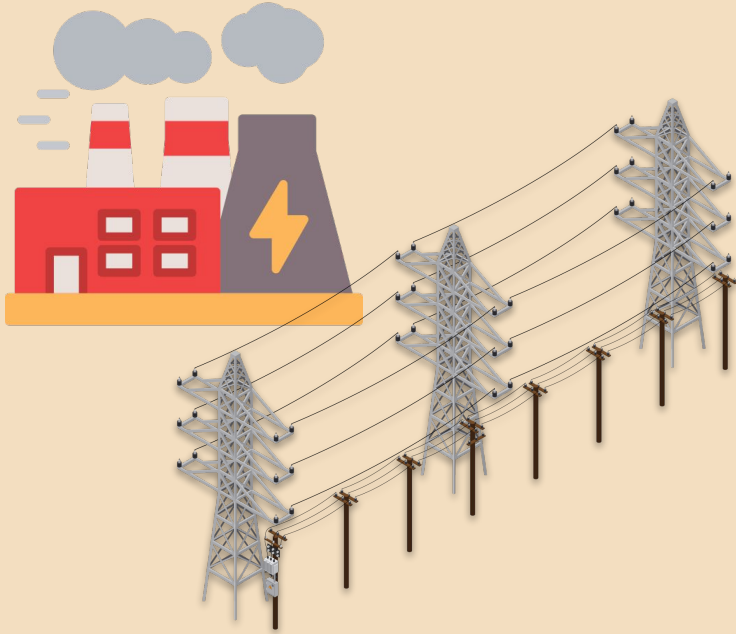
HOW?!



Analyse technique



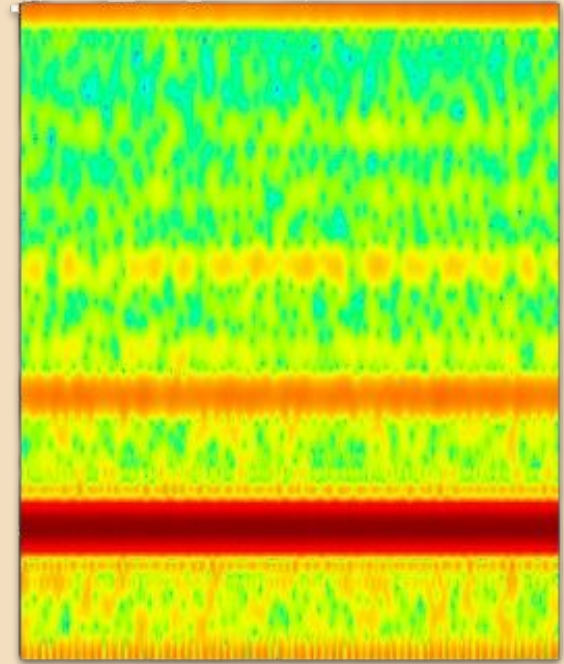
Brève introduction à l'analyse ENF [2]



50 Hz



50 Hz



temps

Notre équipe



Lucas

Enquêteur
judiciaire



Thomas

Spécialiste
informatique
opérationnel



Antoine

Spécialistes
informatiques
de laboratoire



Rony

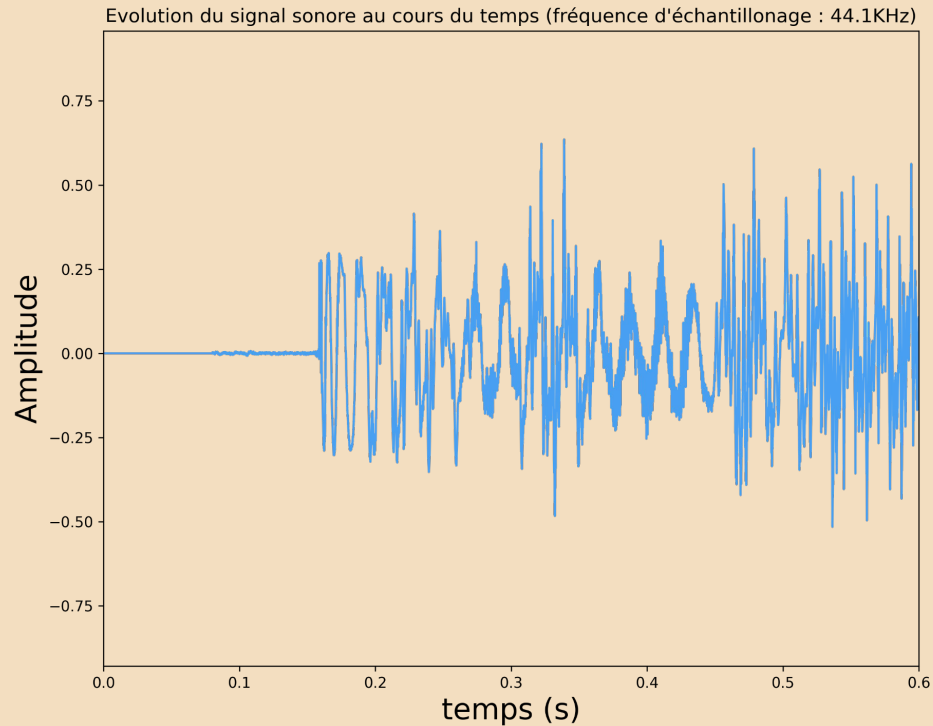
Bases de l'estimation de l'ENF audio

01

Représentation temporelle du signal audio



Audio.wav



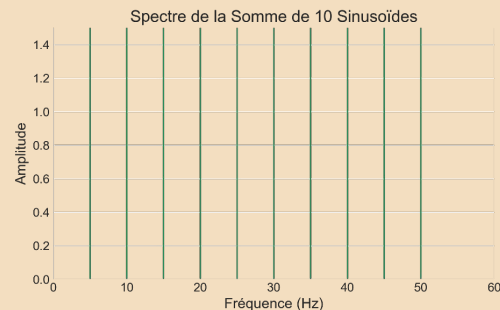
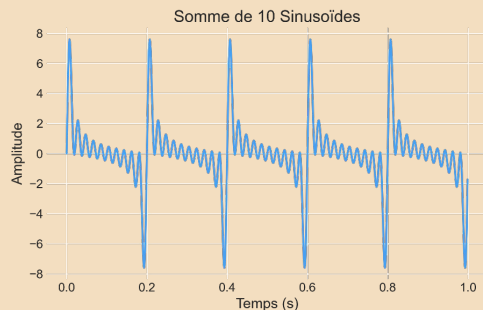
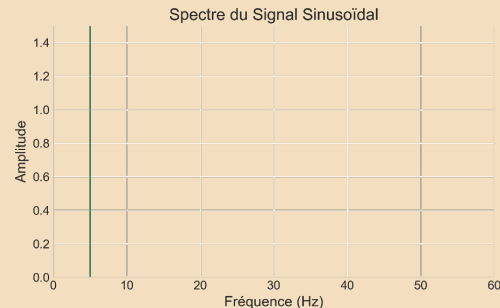
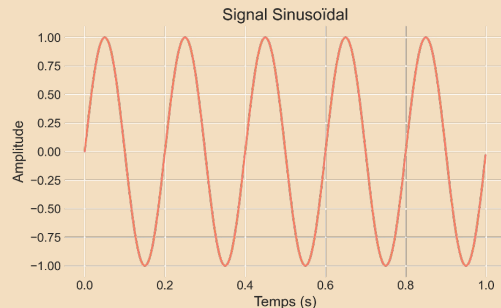
Bases de l'estimation de l'ENF audio

02

Représentation fréquentielle du signal audio

s périodique de période T et de fréquence f

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(2\pi \cdot n f \cdot t) + b_n \sin(2\pi \cdot n f \cdot t)]$$

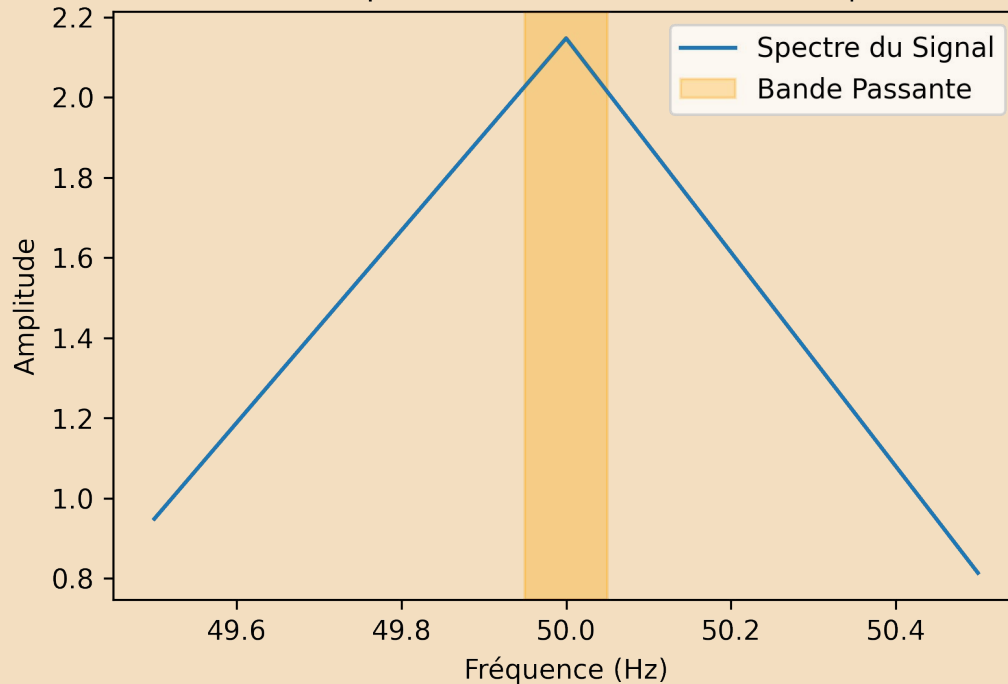


Bases de l'estimation de l'ENF audio

03

Filtre passe-bande autour de la fréquence nominale

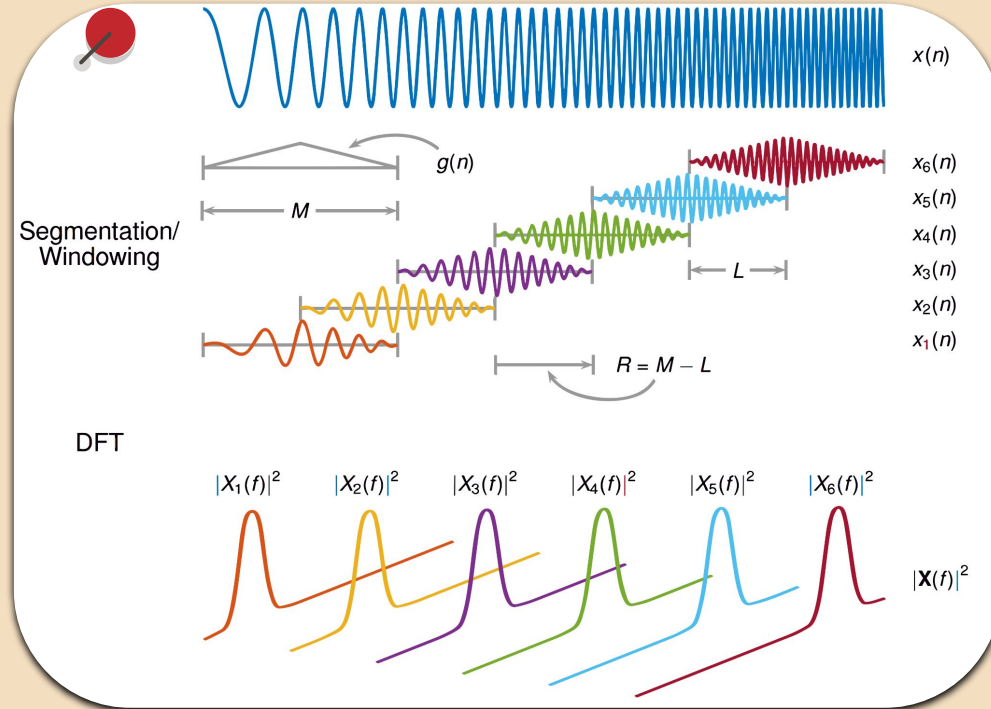
Illustration d'un filtre passe-bande autour de la fréquence nominale



Bases de l'estimation de l'ENF audio

03

Comment observer l'évolution du contenu fréquentiel ?

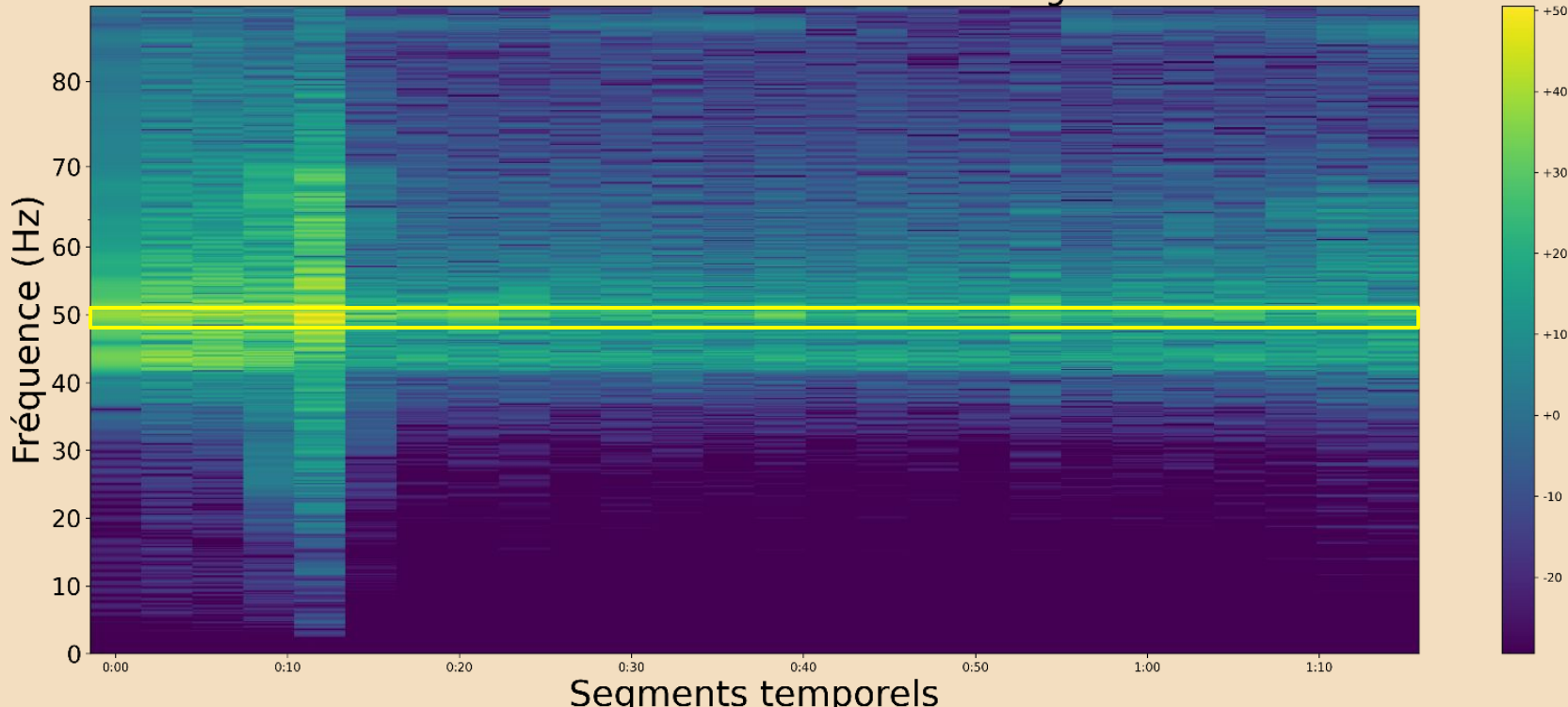


Bases de l'estimation de l'ENF audio

03

Comment observer l'évolution du contenu fréquentiel ?

Transformée de Fourier court-terme d'un signal audio



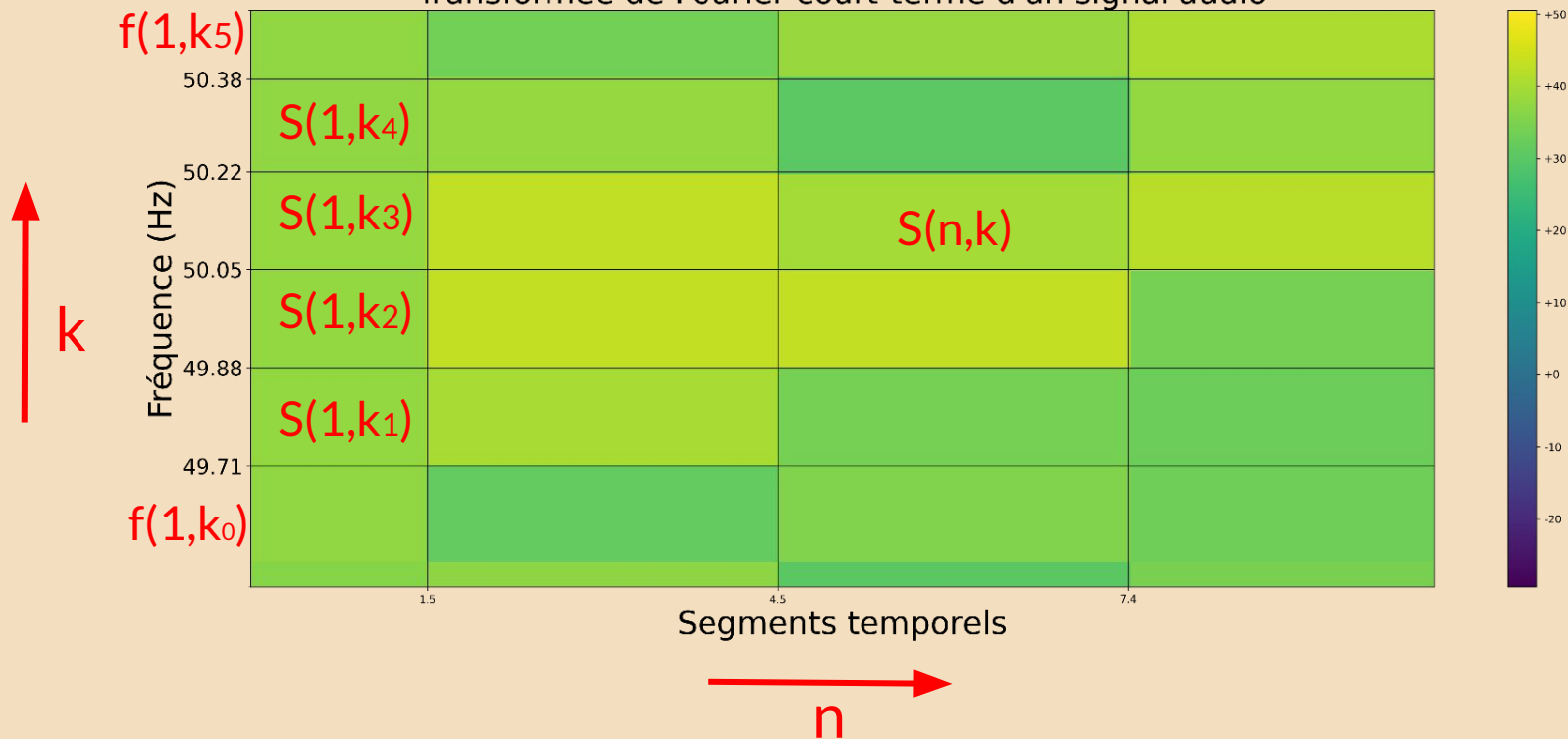
Bande à
50 Hz

Bases de l'estimation de l'ENF audio

04

Estimation de l'ENF avec une moyenne pondérée

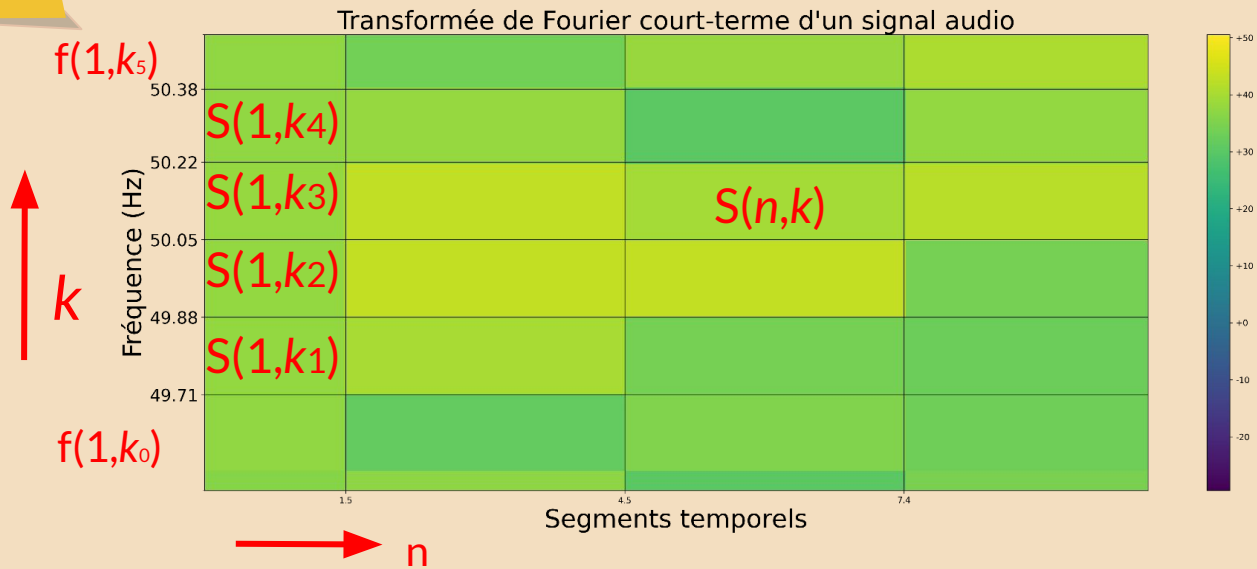
Transformée de Fourier court-terme d'un signal audio



Bases de l'estimation de l'ENF audio

04

Estimation de l'ENF avec une moyenne pondérée



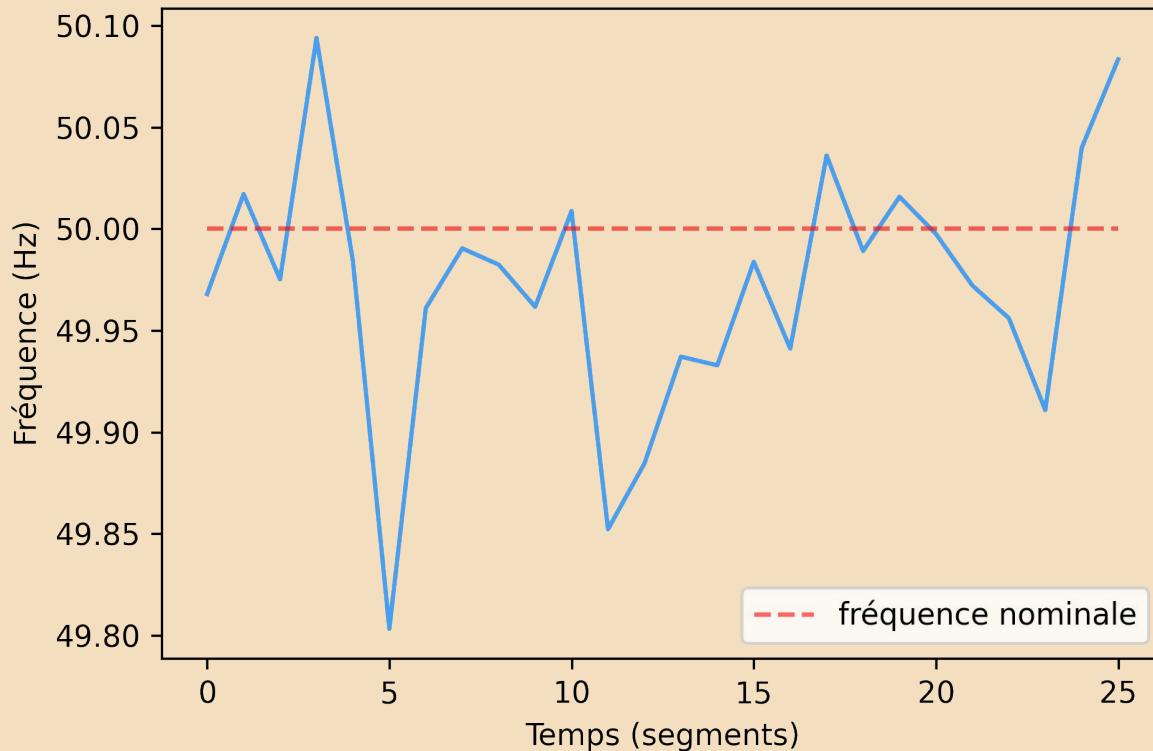
$$ENF(n) = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} f(n, k_i) |S(n, k_i)|}{\sum_{i=1}^{i=4} |S(n, k_i)|}$$

Bases de l'estimation de l'ENF audio

04

Estimation de l'ENF audio avec une moyenne pondérée

ENF estimée



Estimation plus fine de l'ENF audio

s périodique de période T et de fréquence f

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(2\pi \cdot nf \cdot t) + b_n \sin(2\pi \cdot nf \cdot t)]$$

Les multiples de la fréquence nominale sont appelés “harmoniques”

Elles peuvent aussi aider à estimer l'ENF audio

Peut-on maintenant estimer l'ENF dans une vidéo ?

Extraction de l'ENF sur une vidéo

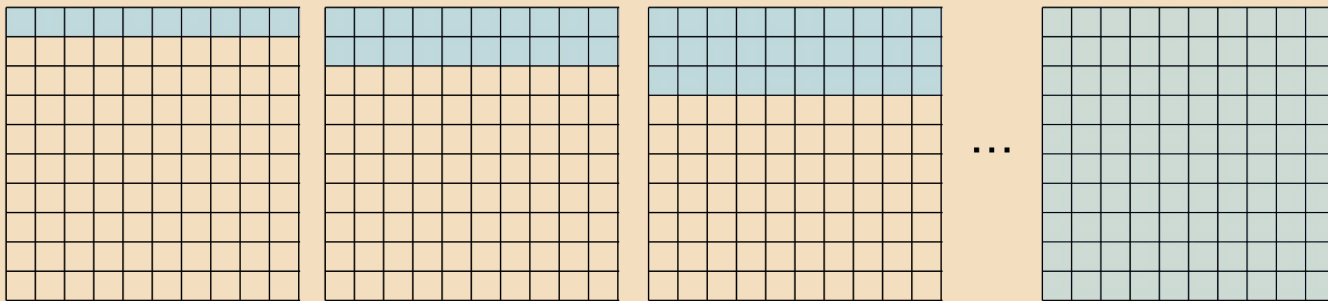
Le scintillement des éclairages peut permettre de calculer l'ENF

Fréquence nominale à 50Hz \Rightarrow Fréquence observée à 100Hz

Problème : 25 images/sec < Fréquence nominale

Solution possible : Exploiter le rolling shutter

Rolling Shutter

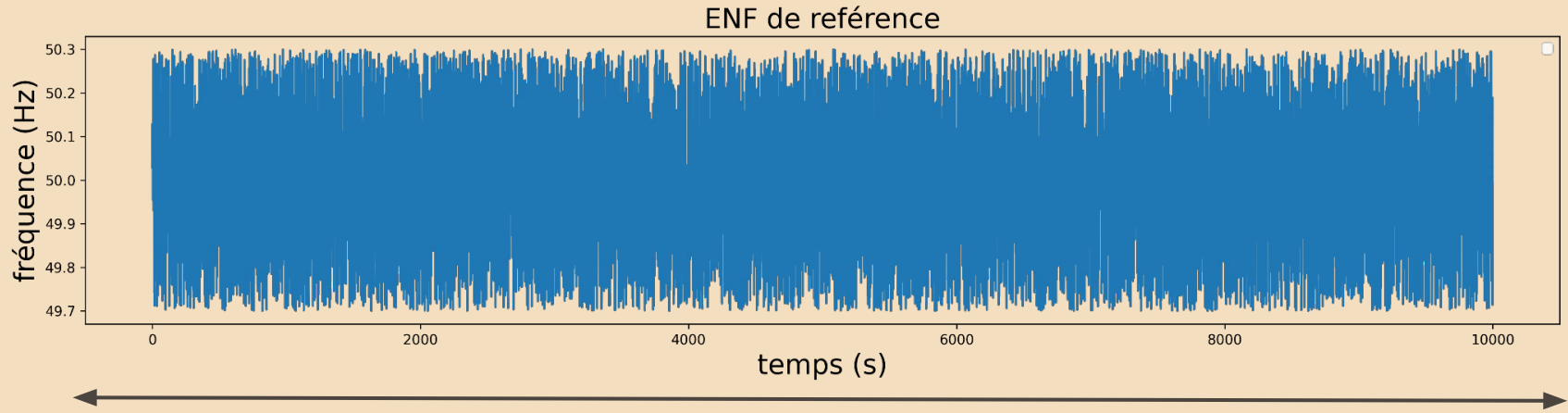


Extraction de l'ENF sur une vidéo

Une méthode permet de déduire si l'ENF est estimable à partir d'une vidéo via l'utilisation de superpixels [12]



Synchronisation temporelle avec le signal de référence



Temps très long \Rightarrow comparaison très coûteuse



11:15 pm



Réduction de la fenêtre de temps

Météo / lumière du soleil



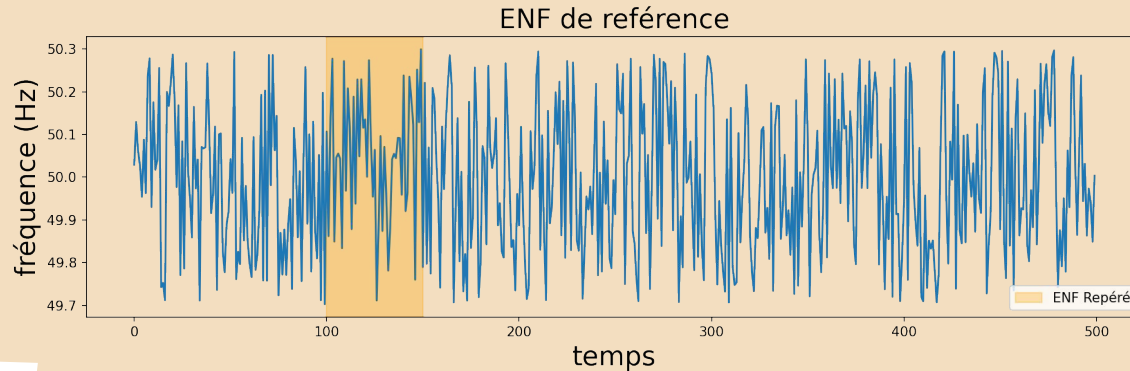
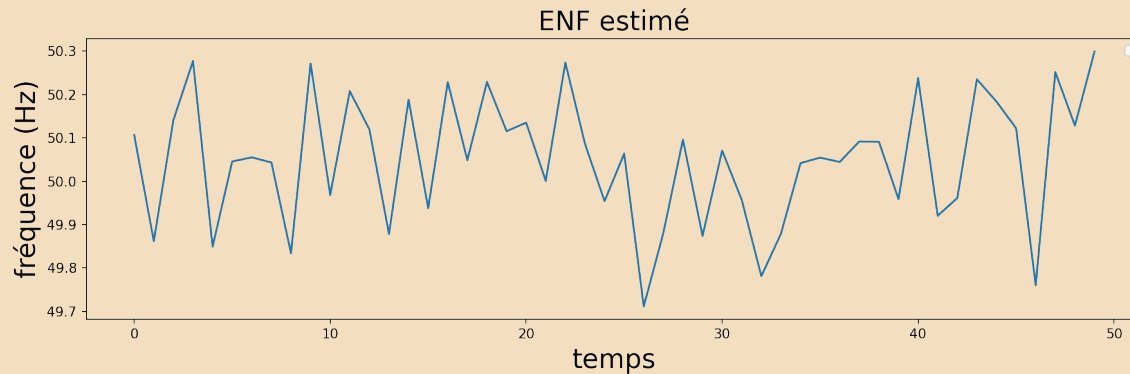
Ombre

Température

11:15 pm



Comment localiser avec l'ENF ?



11:15 pm

Merci la corrélation croisée !



Whoa!



Chef Jérôme est sauvé !!





HOW?!



Fin de
l'enquête ?





HOW?!



Fin de l'enquête ?



Mais avez-vous
vraiment pensé à
tout ?



Une enquête un peu trop “facile”

01

Limites de l'ENF

02

Attaques sur l'ENF

03

Falsifications

04

Autres forensiques



01

Les limites de l'ENF

Dans quels cas l'analyse ENF pourrait ne pas fonctionner ?

Deuxième vidéo



TheGreenShow #4
655 vues · il y a 1 an

THEGREENBOW

TheGreenShow, l'émission qui décrypte l'actualité Cyber.
ComCyberGend ...

Sous-titres

THEGREENSHOW #4
AVEC MARC BOGET

CYBERCRIMINALITE :
COMMENT LE COMCYBERGEND
COMBAT AUX CÔTÉS DES
ENTREPRISES? 17:45

Mix sonore

Son clair, pur : débruitage
basses fréquences,
harmoniques faibles

Eclairage extérieur

Grande baie vitrée :
différence luminosité
difficilement exploitable

Troisième vidéo



Sécurisation des marchés de Noël

3,3 k vues · il y a 11 mois



Gendarmerie nationale ✓

Décembre 2022. Les marchés de Strasbourg et d'Obernai. de ...

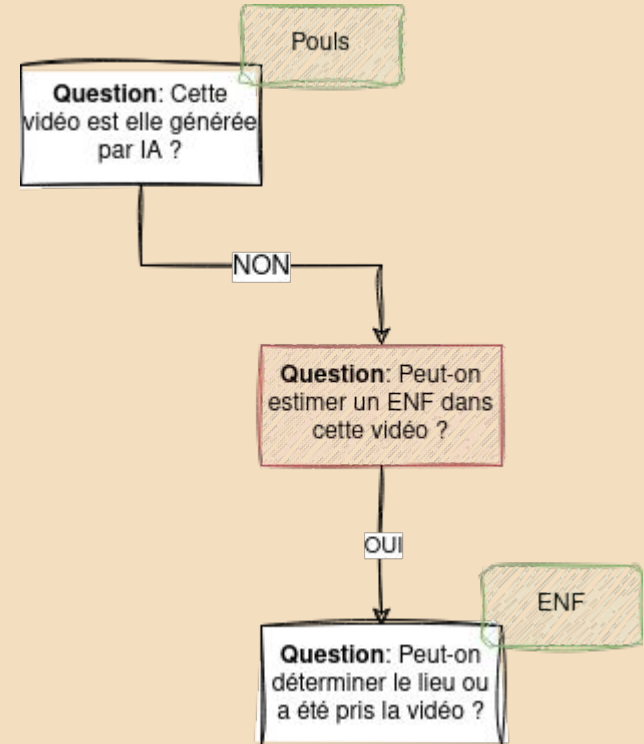
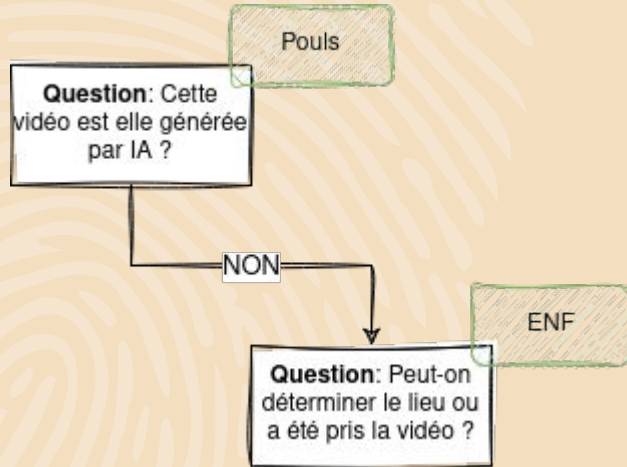
Mix sonore

Multiples coupures, montage post-production, pollution sonore, Effet Doppler causés par les mouvements,

Eclairage extérieur

Pollution lumineuse

Difficulté: Présence de l'ENF ?





02

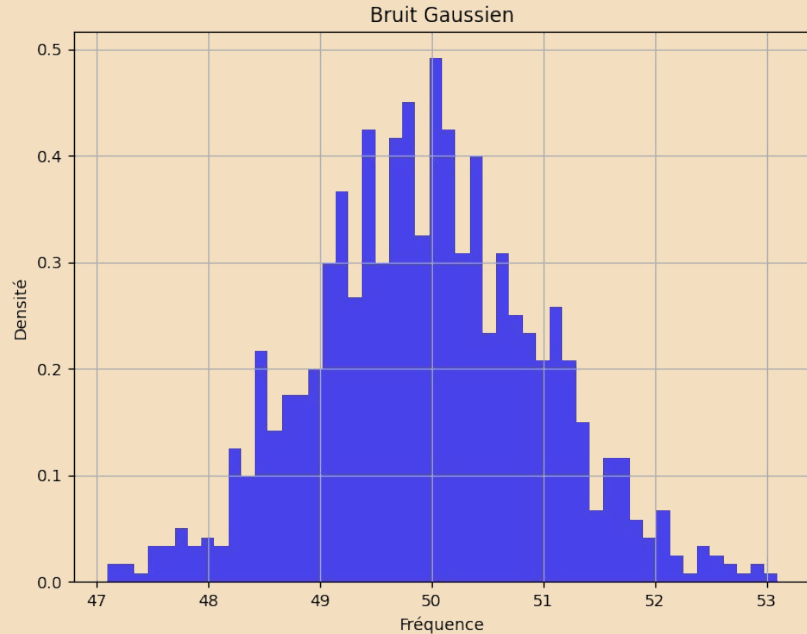


Attaques sur l'ENF



Attaque de l'ENF #1 : Bruitage à 50/60Hz

Hypothèse: dans la littérature: à 50Hz, l'ENF prédomine.
↪ Ajout d'une fréquence de "bruit" variant autour de 50 Hz.



11:15 pm



Contre-mesure #1 : Modèle des signaux



Pas de solution miracle... mais :

[13]: Équation du signal comprenant bruit & enf:

$$\text{signal} = \text{voix} + \text{ENF} + \text{bruit}$$

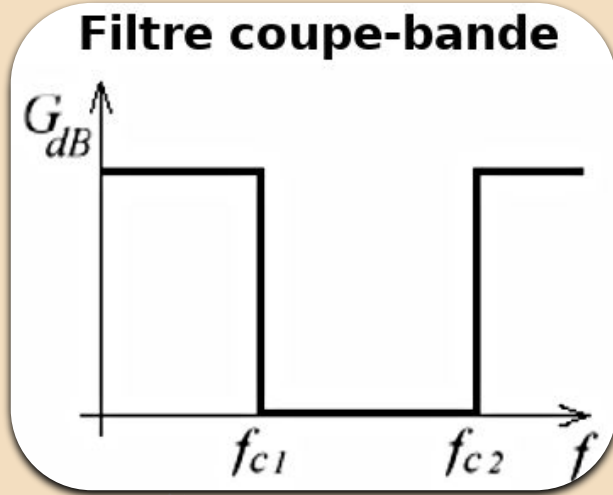
- ↔ Modéliser le bruit comme un processus stochastique
- ↔ Modéliser l'enf comme un processus auto-régressif [9]

11:5 pm

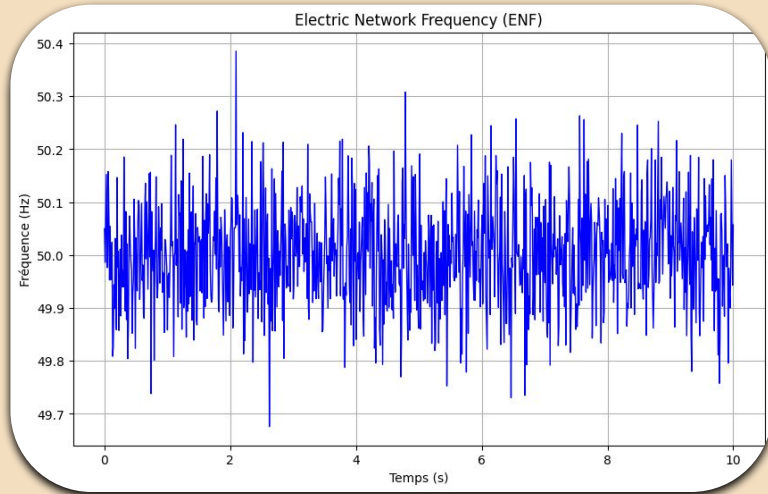


Attaque de l'ENF #2 : Interversion 50/60Hz [16]

Filtre coupe-bande



+

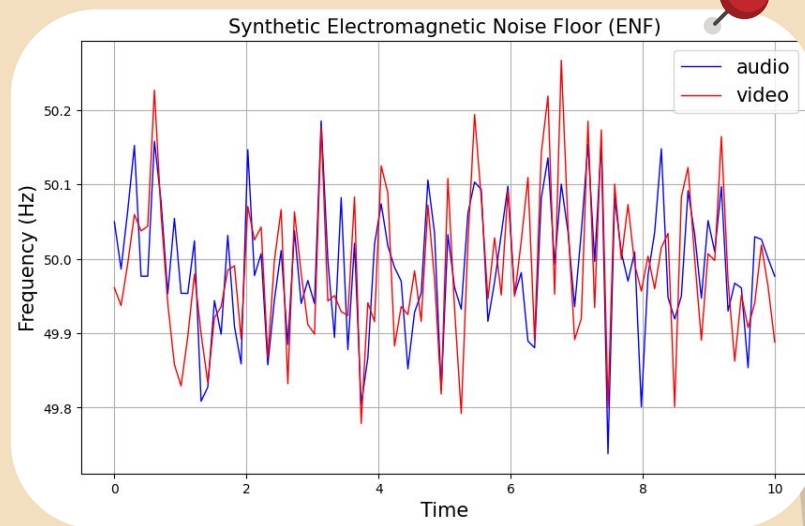
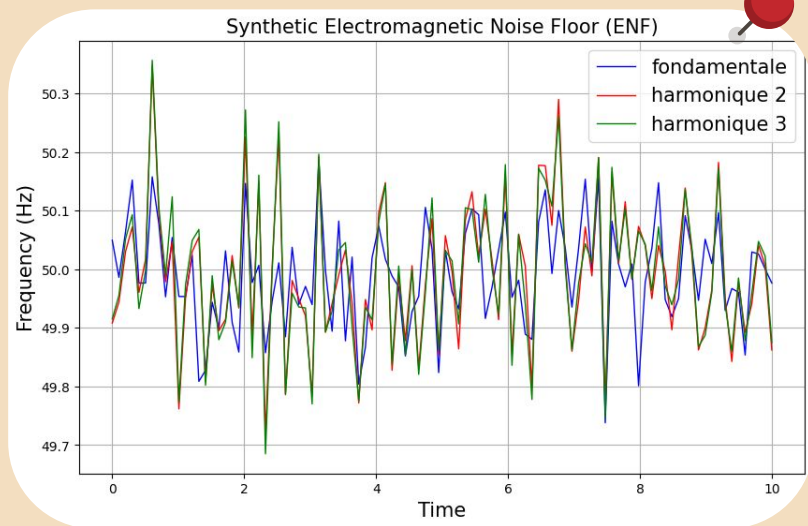


Fausse ENF

11:15 pm



Contre-mesure #2 : Comparaison harmoniques ou audio/vidéo



Recherche de
cohérence

11:15 pm





03

Détections de falsifications

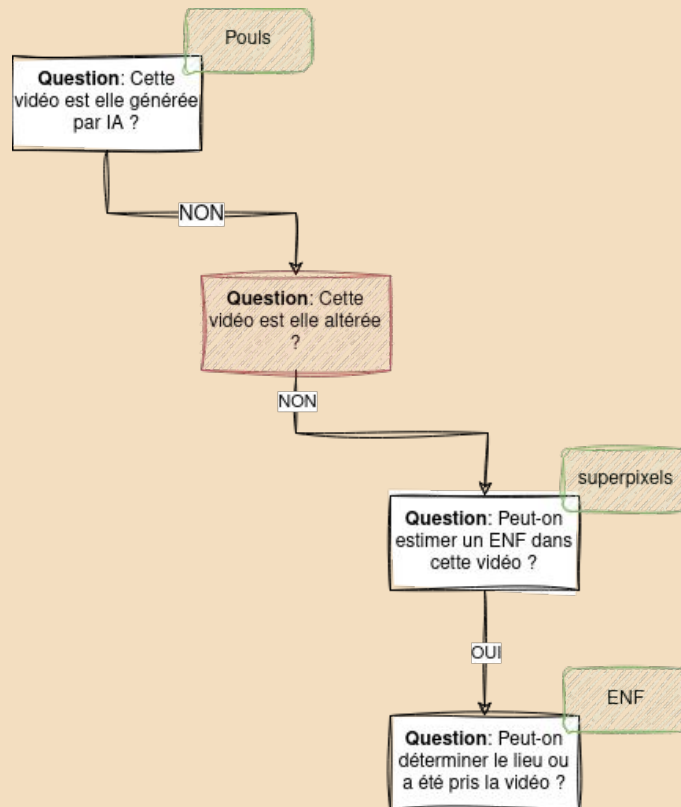
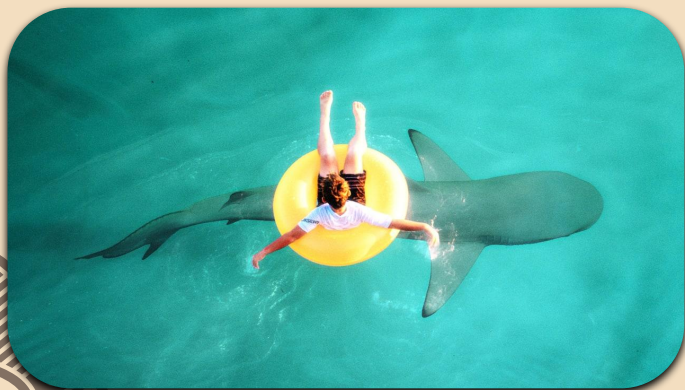


Question #1 : Présence de falsification ?



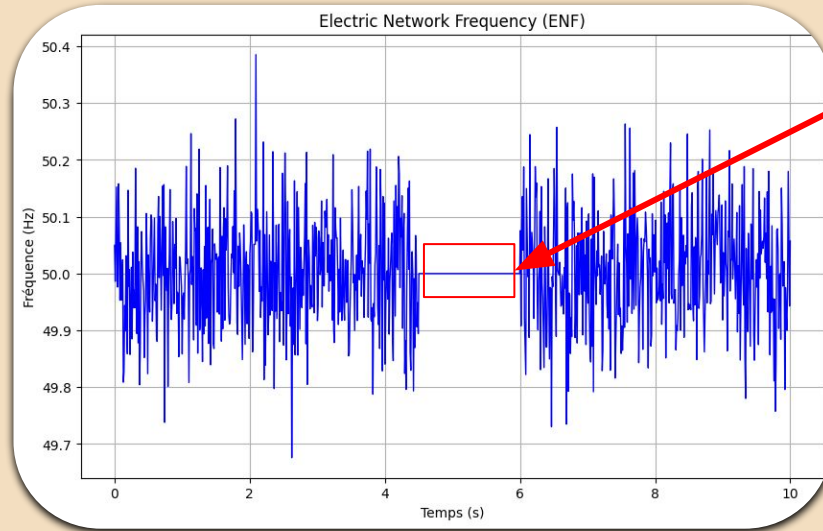
Constat : Il est aisé de retirer/ajouter un élément dans le contenu.

Objectif : Détecter des modifications “ponctuelles” dans la vidéo (⚡*deep-fake*)



Analyse #1 : ENF (encore!) [15]

Réponse: Incohérences dans ENF propre → modifications probables !



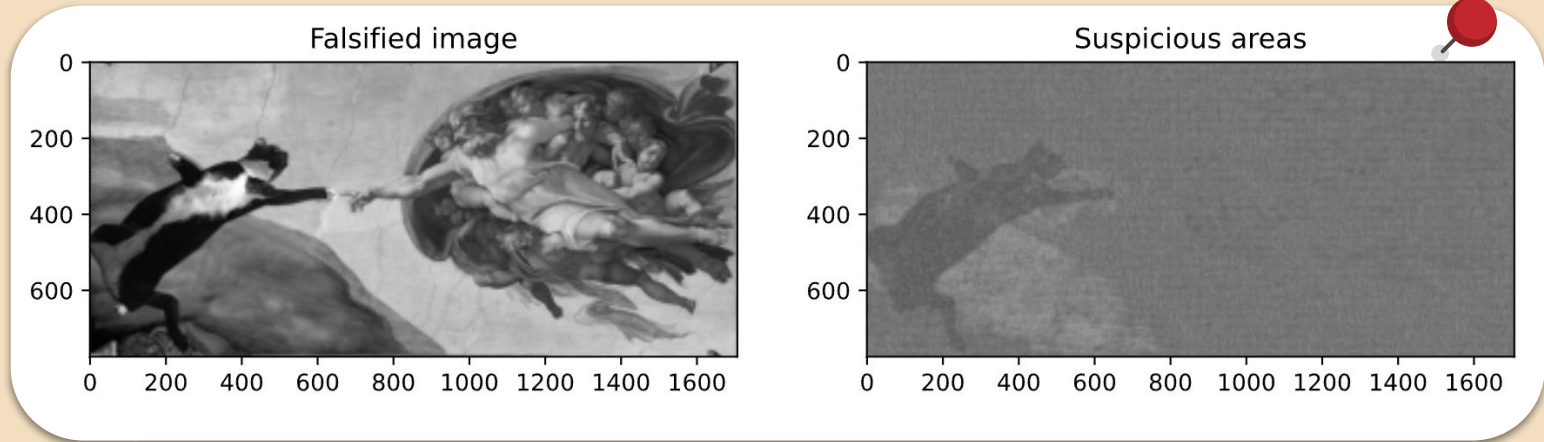
Suspect

11:15 pm



Analyse #1-bis : Noiseprint [13]

Idée: Une caméra possède une “empreinte digitale”. Une falsification est identifiable par une irrégularité dans cette empreinte.



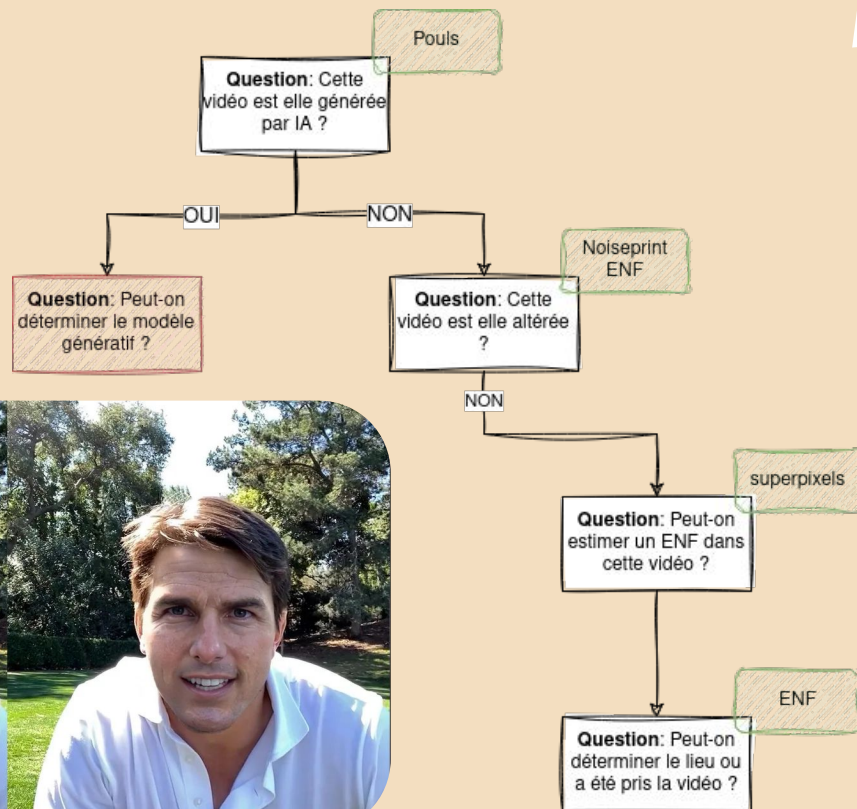
11:15 pm



Question #2 : Modèle génératif ?

Constat: *deep-fakes* de + en + communs.

Objectif: remonter au générateur à partir de l'image / vidéo.



Analyse #2 : Résidus 2D FFT [14]

Idée : Chaque modèle génératif produit un signal qui lui est propre, visualisable dans le domaine fréquentiel.

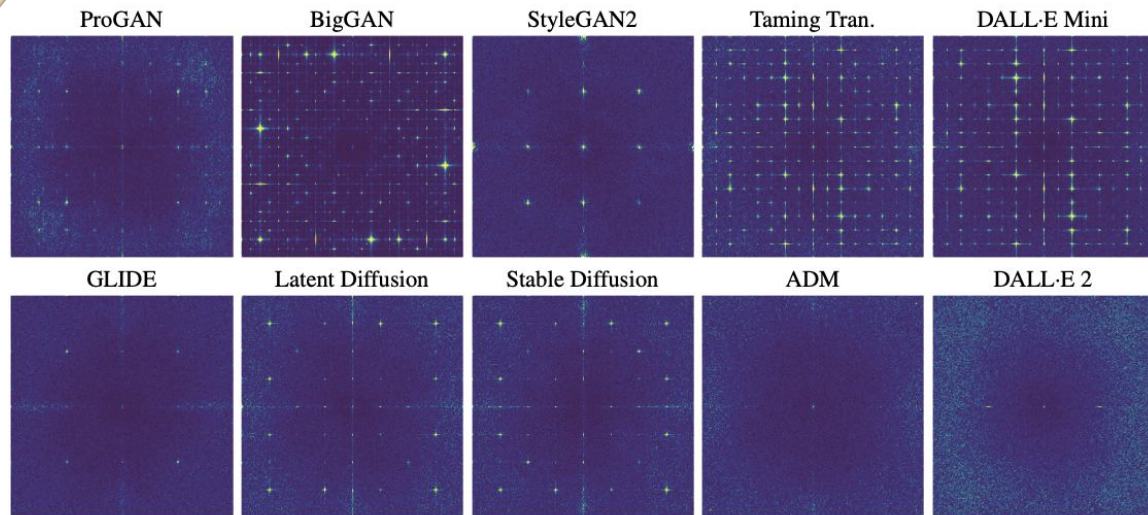


Fig. 2: Fourier transform (amplitude) of the artificial fingerprint estimated from 1000 image residuals. Top row: from left to right ProGAN [20], BigGan [21], StyleGAN2 [22], Taming Transformers [23], DALL-E Mini [24]. Bottom row: GLIDE [5], Latent Diffusion [25], Stable Diffusion [4], ADM [26], DALL-E 2 [3]



04

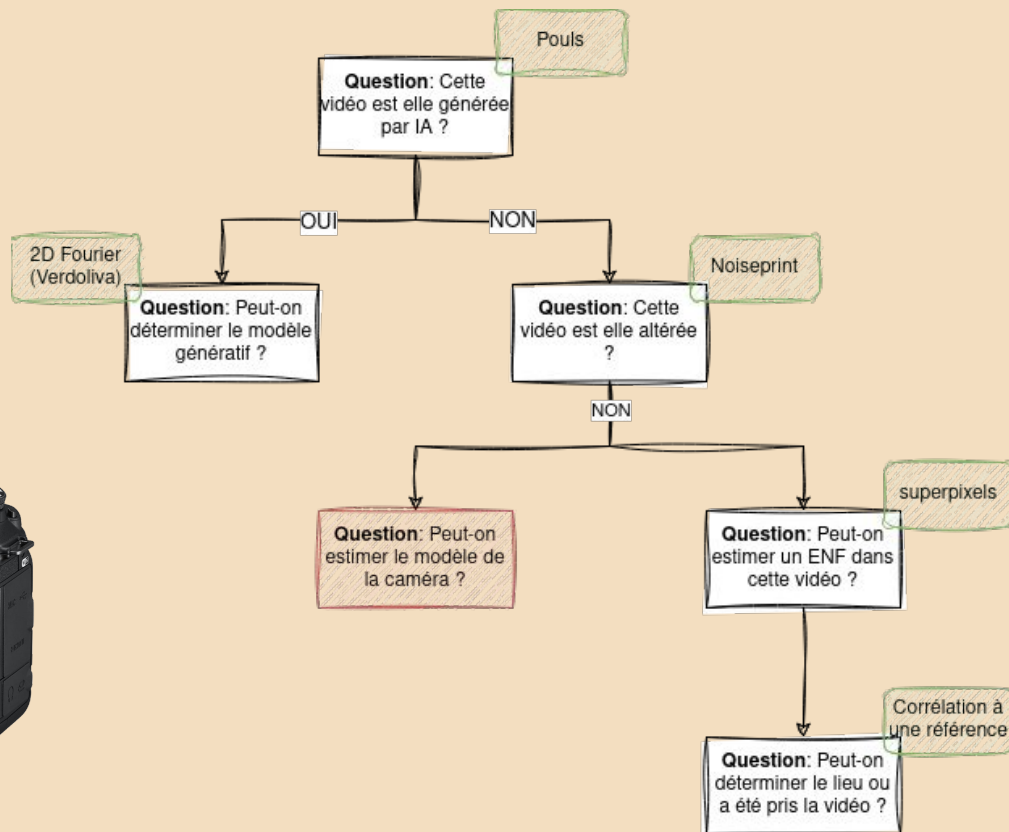
Etudes forensiques complémentaires



Question #3 : Quelle modèle de caméra ?

Constat : Chaque modèle possède des propriétés caractéristiques.

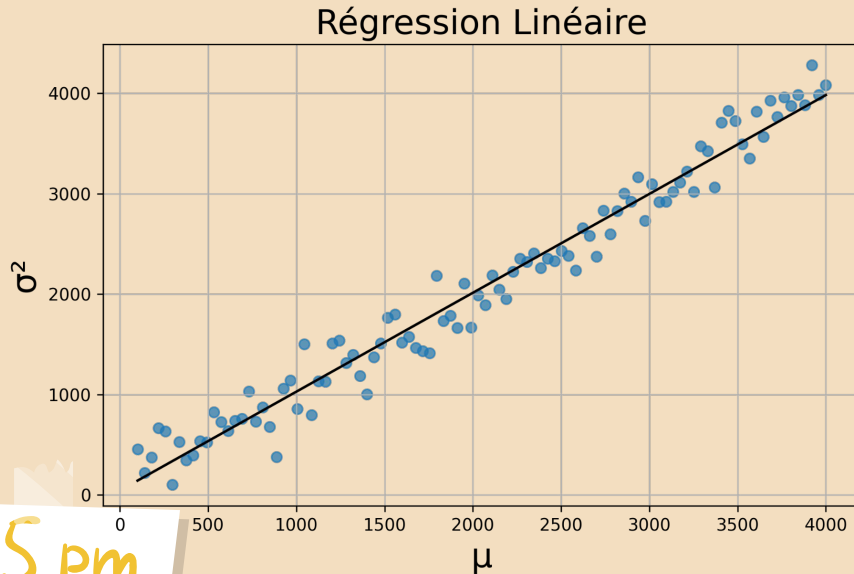
Objectif : Identifier le modèle (marque & modèle)



11:15 pm

Analyse #3 : Modèle de bruit RAW [10]

idée : La capteur génère un bruit caractéristique hétéroscédastique.



$$\sigma^2 = a \times \mu + b$$

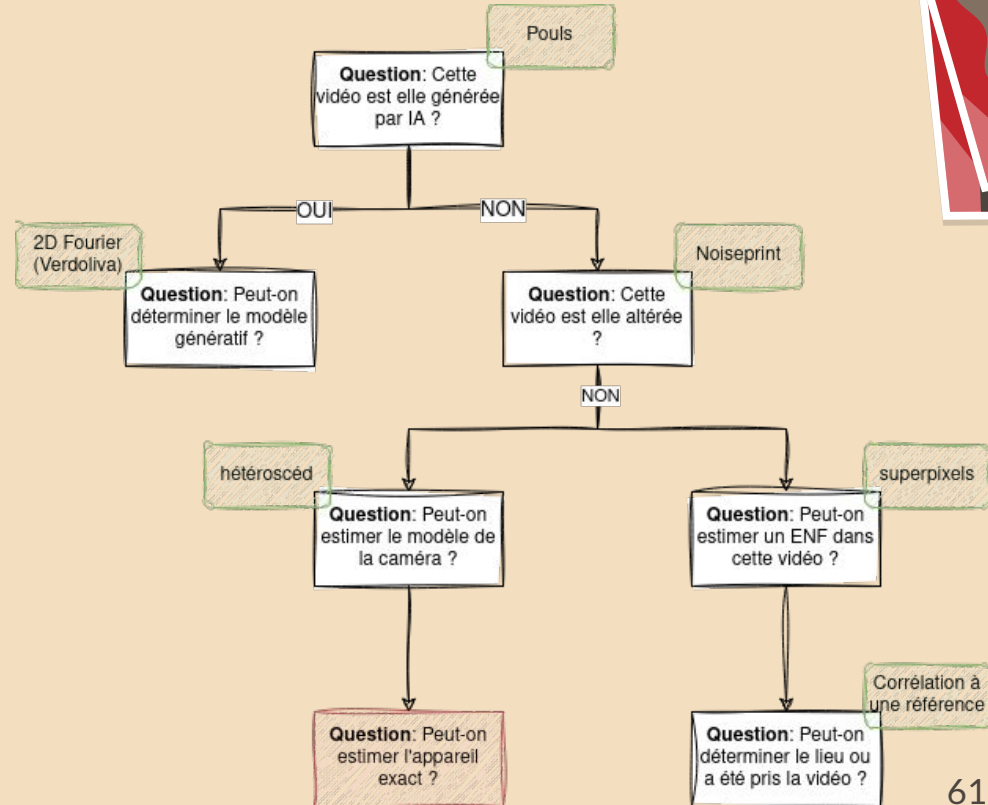
→ $x \sim N(\mu, a \times \mu + b)$

a & b sont spécifiques du modèle d'appareil !

Question #4 : Quelle caméra ?

Constat : L'usinage d'une caméra est imparfait. Une caméra est donc unique.

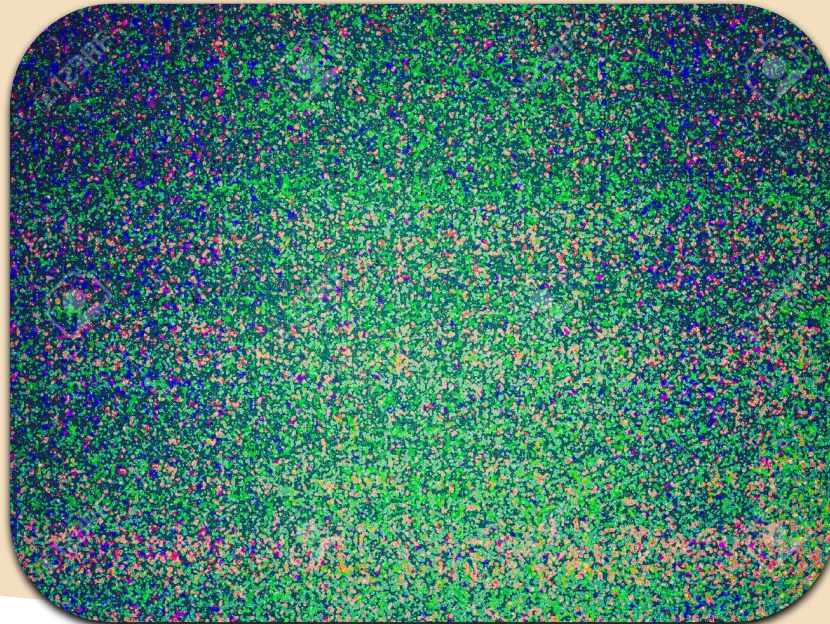
Objectif : identifier le modèle exact utilisé pour capturer une vidéo.



11:15 pm

Analyse #4 : PRNU [11]

Idée: Certaines cellules du capteur sont impactées par des défauts de fabrication et permettent de fabriquer un bruit propre à l'appareil



11:15 pm



Question #5 : Possibilité de retrouver la voix sans son ?

Constat : En cas de défaut de son ou de montage/altération, on peut perdre le contenu du discours.

Objectif : retrouver les paroles prononcées par des personnes avec un support vidéo sans son.



Analyse #5 : Vibrations objets [3]

Rolling Shutter



Image of vibrating object
projected on sensor



Image read from
rolling shutter sensor

Motion and artifacts exaggerated here for illustration

Synthèse



Synthèse

Détection fake

- Recherche d'incohérences
- Informations sur les falsifications

Synthèse

Détection fake

- Recherche d'incohérences
- Informations sur les falsifications

Utilisation ENF

- Recherche d'incohérences
- Localisation : proximité réseau électrique



Synthèse

Détection fake

- Recherche d'incohérences
- Informations sur les falsifications

Utilisation ENF

- Recherche d'incohérences
- Localisation : proximité réseau électrique

Autres infos

- Caméra : modèle et appareil
- Son à partir de support visuel



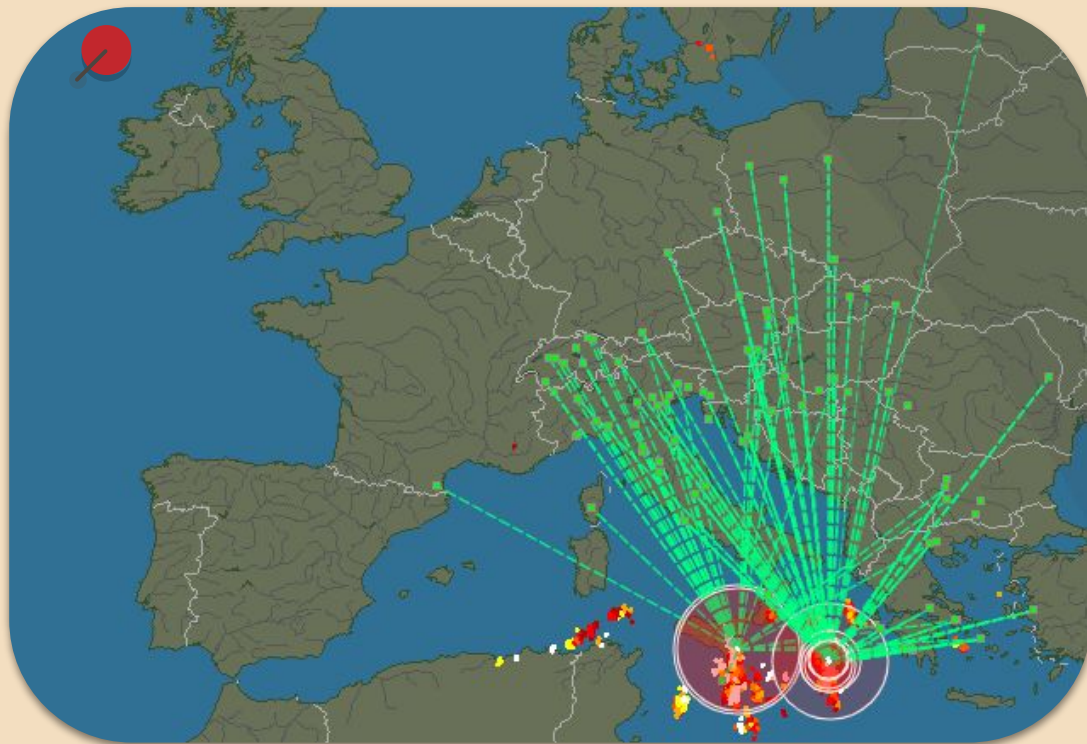
HOW?!



Autres perspectives



Détection des éclairs [4]

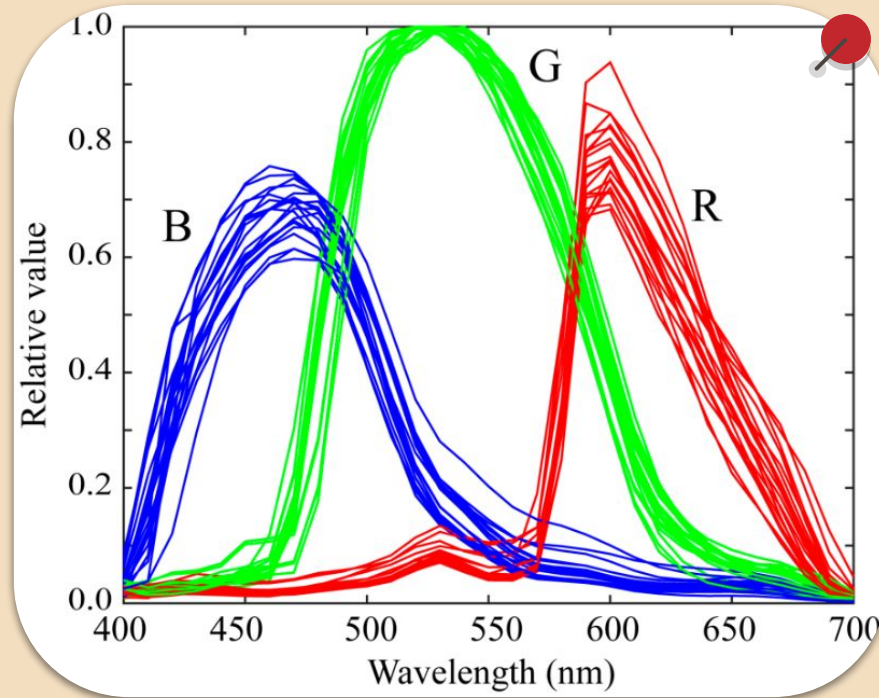


Source:
<https://www.blitzortung.org>

Analyse colorimétrique du ciel [5]

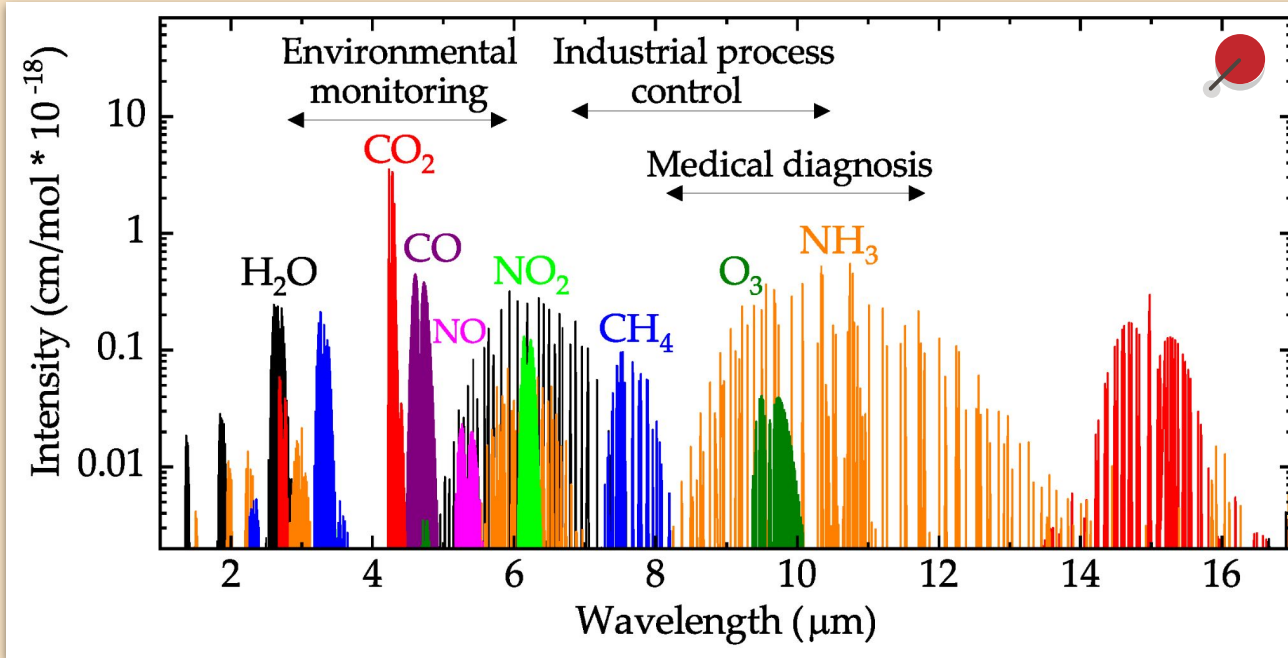


Analyse colorimétrique du ciel



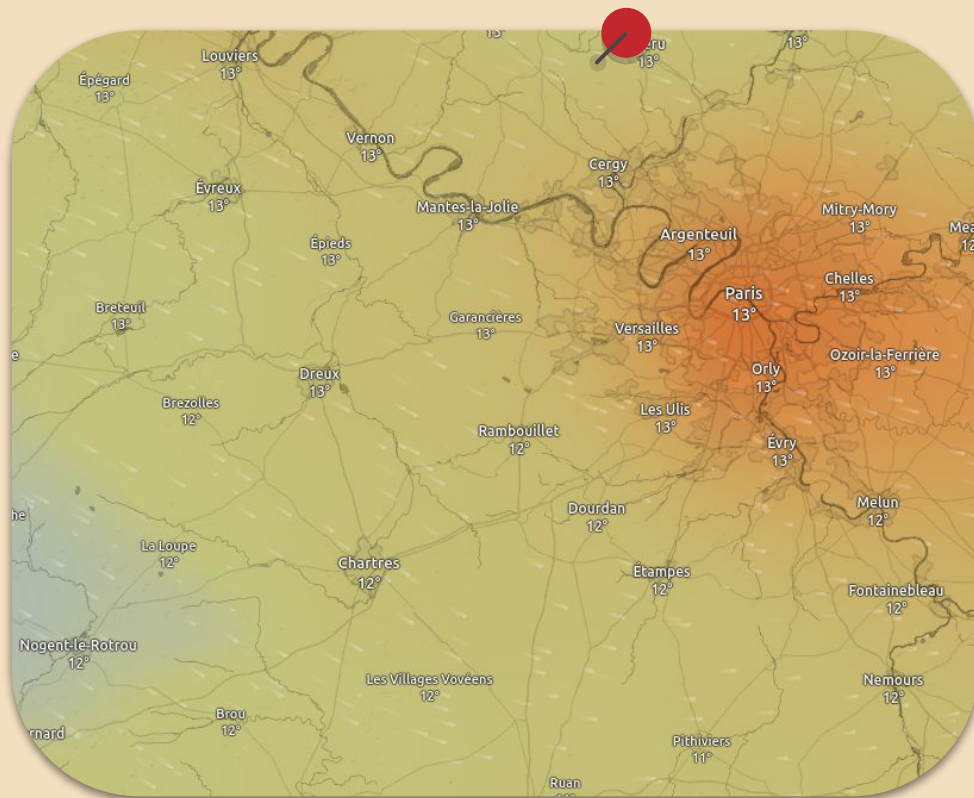
Sensibilité spectrale
de différents capteurs
de téléphone [6] [7]

Analyse colorimétrique du ciel



Spectres
d'absorption des
différents
polluants [9]

Analyse colorimétrique du ciel



**Concentration
en oxydes
d'azote dans
l'atmosphère**

(source: Windy)

Merci !

Avez-vous des questions?



REDOCS



Bibliographie

- [1] X. Li et al. "Remote Heart Rate Measurement from Face Videos under Realistic Situations." 2014 IEEE CVPR
- [2] C. Grigoras "Digital audio recording analysis—the electric network frequency criterion". 2005 International Journal of Speech Language and the Law
- [3] A. Davis et al. "The visual microphone: passive recovery of sound from video." 2014 ACM Trans. Graph.
- [4] V. A. Rakov, "Electromagnetic methods of lightning detection". 2013 Surveys in Geophysics.
- [5] Y. C. Wen et al. "Irradiance independent spectrum reconstruction from camera signals using the interpolation method". 2022 Sensors
- [6] S. Tominaga et al. "Measurement and estimation of spectral sensitivity functions for mobile phone cameras." 2021 Sensors
- [7] N. Akhtar, A. Mian "Hyperspectral recovery from RGB images using Gaussian processes." 2018 IEEE TPAMI
- [8] D. Popa, F. Udrea "Towards integrated mid-infrared gas sensors." 2019 Sensors
- [9] G. Hua et al. "Factors affecting forensic electric network frequency matching—A comprehensive study". 2023 *Digital Communications and Networks*.
- [10] T. H. Thai, R. Cogranne, & F. Retraint "Camera model identification based on the heteroscedastic noise model." 2013 *IEEE TIP*
- [11] J. Lukas, J. Fridrich & M. Goljan "Digital camera identification from sensor pattern noise" 2006 *IEEE TIFS*
- [12] S Vatansever, AE Dirik, N Memon, "Detecting the Presence of ENF Signal in Digital Videos: a Superpixel based Approach" 2017 in *IEEE Signal Processing Letters*.
- [13] D. Cozzolino and L. Verdoliva, "Noiseprint: a CNN-based camera model fingerprint" 2020 *TIFS*
- [14] Riccardo Corvi et al. "On the detection of synthetic images generated by diffusion models" 2023 *ICASSP*

Bibliographie

- [15] P. M. G. I. Reis et al “ESPRIT-Hilbert-based audio tampering detection with SVM classifier for forensic analysis via electrical network frequency.” 2016 *IEEE TIFS*.
- [16] G. Karantaidis & C. Kotropoulos “Assessing spectral estimation methods for electric network frequency extraction”. 2018 *Proceedings of Pan-Hellenic Conference on Informatics*.

