

# Introduction à la sécurité

## TP 1 : Cryptographie historique

Ce TP a été conçu par Julien Lavauzelle. L'original est accessible sur <https://www.lvzl.fr/teaching.html>.

Dans ce TP, les objectifs sont d'implanter :

- le chiffrement de Cesar une généralisation possible, le chiffrement affine;
- des attaques statistiques sur ces chiffrements;
- le chiffrement de Vigenère;
- une attaque statistique sur ce chiffrement.

### Exercice 0.

Recommandations.

1. Ce TP est à faire en Python.
2. Faites les questions dans l'ordre et pensez à tester votre code.
3. N'hésitez jamais à rajouter de la sortie de debug pour comprendre tout ce qui se passe.
4. Téléchargez les fichiers à déchiffrer à l'adresse suivante :

<https://www.lvzl.fr/teaching/2025-26/docs/is/docs-tp1.zip>

### Exercice 1.

Chiffrement affine

1. Dans cet exercice, on souhaite **implanter et attaquer un chiffrement affine simple**. On considère un ensemble de symboles (l'alphabet) formé des 26 lettres courantes en majuscule A-Z, et de trois caractères spéciaux : l'espace « », l'apostrophe « ' » et le point « . ».

On souhaite encoder ces 29 caractères avec les entiers allant de 0 à 28, en commençant par le A et en terminant par le point.

→ Écrire des fonctions `encode` et `decode`, qui permettent respectivement d'encoder un caractère de l'alphabet (à 29 élément) en l'entier correspondant, et de décoder un entier en un caractère, selon la règle d'encodage énoncée ci-dessus.

2. Le chiffrement de Cesar vu en cours s'applique aussi bien sur l'alphabet classique à 26 éléments, que sur notre alphabet à 29 éléments. Par exemple, avec la clé K (caractère numéro 10), le texte clair « HELLO WORLD. » devient le chiffré « ROVYYHDY'VNJ ».

→ Écrire des fonctions `chiffre_cesar` et `dechiffre_cesar`, qui permettent respectivement de chiffrer un texte clair et de déchiffrer un texte chiffré avec une clé représentée sous la forme d'un entier compris entre 0 et 28.

3. Dans notre alphabet à 29 éléments, la distribution des caractères est différente de celle présentée en cours, car on a ajouté trois éléments dont le caractère d'espacement qui est très courant. Avec cet alphabet à 29 caractères, les caractères les plus fréquents sont les suivants :

caractère	espace	E	A	S	I
fréquence	0.165	0.136	0.076	0.069	0.065

→ Écrire une fonction `plus_frequent` qui retourne le caractère le plus fréquent d'un texte.

4. → Retrouver le texte clair associé au texte chiffré par un chiffrement de Cesar, qui est donné dans le fichier `enc_cesar.txt`.

5. On s'intéresse maintenant à une autre catégorie de chiffrement, appelée « chiffrement affine ». L'idée est de généraliser le chiffrement de Cesar à d'autres types de substitutions de lettres. Pour Cesar, la substitution était donnée par :

$$x \mapsto x + \Delta \mod 29$$

où  $x$  est la lettre à chiffrer, et  $\Delta$  est la clé de décalage.

Pour un chiffrement affine, la permutation est de la forme :

$$x \mapsto ax + b \pmod{29}$$

où le couple  $(a, b)$  forme la clé secrète, avec comme seule contrainte que  $a$  soit différent de 0. Pour déchiffrer, on doit alors appliquer la permutation inverse, à savoir :

$$y \mapsto (y - b) \cdot a^{-1} \pmod{29}$$

**Remarque.** Pour obtenir l'inverse modulaire «  $a^{-1} \pmod{29}$  », en **python** il suffit d'exécuter **pow(a, -1, 29)**.

- Écrire des fonctions **chiffre\_affine** et **dechiffre\_affine**, qui permettent respectivement de chiffrer un texte clair et de déchiffrer un texte chiffré avec une clé **cle** représentée sous la forme d'un couple d'entiers.
- 6. → Vérifier que le chiffré de **INFORMATIQUE** par la clé  $(a = 13, b = 12)$  est **AHTUBXM'ARLG**, puis que le déchiffrement se déroule correctement.

7. Pour retrouver la clé  $\Delta$  du chiffrement de Cesar, il a suffi de reconnaître le chiffré d'une seule lettre (en l'occurrence, la plus fréquente). Pour retrouver la clé du chiffrement affine, qui est formée de deux entiers  $(a, b)$ , il nous faudra la connaissance du chiffrement de deux lettres.

Supposons que l'on connaisse  $y$  le chiffré d'un caractère  $x$ , et  $y'$  le chiffré de  $x'$ . Alors on a le système de deux équations à deux inconnues  $(a, b)$  :

$$\begin{cases} y = ax + b \pmod{29} \\ y' = ax' + b \pmod{29} \end{cases}$$

que l'on sait résoudre pour obtenir

$$a = (y - y') \cdot (x - x')^{-1} \pmod{29}, \quad \text{puis} \quad b = y - ax \pmod{29}.$$

- Écrire une fonction **deux\_plus\_frequents** qui retourne les deux caractères les plus fréquents d'un texte.
- 8. → Retrouver le texte clair associé au texte chiffré par un chiffrement affine, qui est donné dans le fichier **enc\_affine.txt** du dossier **affine**.

## Exercice 2.

Attaque sur le chiffrement de Vigenère.

1. On souhaite attaquer le chiffrement de Vigenère tel que vu en cours, c'est-à-dire avec un alphabet de 26 lettres.  
→ Implanter les fonctions de chiffrement et de déchiffrement de Vigenère, puis tester ces fonctions sur un exemple.
2. L'indice de coincidence d'un texte est donné par la formule :

$$\text{IC} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{26} M_i(M_i - 1)$$

où  $N$  est le nombre de caractères dans le texte, et  $M_i$  est le nombre de fois que le  $i$ -ème caractère apparaît dans le texte.

→ Implanter une fonction **IC** qui calcule l'indice de coincidence d'un texte.

3. On rappelle que, sur l'alphabet que l'on a considéré, l'indice de coincidence du français est de 0.078 tandis que celui d'un texte aléatoire est de 0.038. L'algorithme suivant doit donc permettre de deviner la longueur de la clé :

**Data :** un chiffré  $C$  obtenu par une clé de longueur  $L$  (a priori inconnue)

**Résultat :** la longueur  $L$

**test**  $\leftarrow 0$

**L**  $\leftarrow 0$

**while** **test**  $< 0.07 **do**$

    | **L**  $\leftarrow L + 1$

    | Former le morceau de texte  $T \leftarrow C[0] C[L] C[2L] C[3L] \dots$

    | **test**  $\leftarrow \text{IC}(T)$

**end**

**return** **L**

→ Implanter une fonction **calcule\_longueur\_cle** qui prend en entrée un texte chiffré, et qui retourne la longueur de clé probable utilisée pour obtenir ce chiffré.

4. → Implanter (ou réutiliser de l'exercice précédent) une fonction **calcule\_decalage** qui calcule le décalage probable d'un morceau de texte chiffré avec le chiffrement de Cesar.
5. → Implanter une fonction **attaque\_vigenere** qui décrypte un chiffré de Vigenère.
6. → Décrypter les chiffrés contenus dans les fichiers **file*<i>*\_enc.txt** du dossier **vigenere**.