Rapport du Projet de Réseaux et Systèmes

A l'intention de Monsieur Bros Maxime

Membres du groupe : Dupont Rémi et Fauriat Mattieu

Promotion du Master Mathématiques CRYPTIS 2020-2021

1 – Présentation du sujet : Conception d'un protocole de communication basé TCP sécurisé par RSA

Le but ici est de simuler une communication basée TCP sécurisée par RSA entre un client et un serveur sur un réseau locale.

Pour réaliser ce projet nous avons d'abord commencé par recopier les fonctions mises à disposition dans le sujet, puis nous avons créer quelques fonctions utiles pour le chiffrement RSA, telle que la fonction « decoupage » (voir ci-dessous) qui comme son nom l'indique servira à découper le message en plusieurs morceaux de même longueur. (Spoiler alerte : on ne l'a pas utilisé comme on le pensait).

```
63  def decoupage(message, l):
64          #fonctions pour découper un message en morceaux de longueur l
65          #problème si len(message) n'est pas multiple de l
66          n = len(message)
67          if n%l !=0:
68                  message = message + (l - n%l)*"X" #padding avec des X
69                  n = n + l - n%l
70          Liste_message = []
71          q = n//l
72          for i in range(q):
73                  Liste_message.append(message[i*l : l+i*l])
74          return Liste_message
```

2 – Déroulement de notre travail

Tout d'abord **envoyons des bytes** dans le réseau.

Nous avons commencé par RSA, en simulant un échange de nombres entiers entre Alice et Bob :

- Grâce à la méthode suggérée dans le sujet, Alice doit générer 2 nombres premiers p et q.
- Alice calcule $n = p * q$ ainsi que $\varphi(n) = (p-1)(q-1)$ où φ est l'indicatrice d'Euler.
- Alice calcule aussi $d = e^{-1}\ [\varphi(n)]$ qui sera sa clef privée.
- Alice envoie à Bob la clef publique (e, n).
- Bob choisi son message M et le chiffre, grâce à la clef que lui a envoyée Alice, avec l'opération suivante : $C = M^e$.
- Bob transmet le chiffré C à Alice.
- Alice déchiffre le message en effectuant le calcul suivant $C^d\ [n] = M$.

Jusqu'ici nous n'avons rencontré aucune difficulté dans la programmation car la plupart des fonctions à utiliser nous ont été données.

Ensuite, en nous aidant du cours nous avons essayé de coder un programme serveur qui représentera Bob et un programme client qui représentera Alice. Nous avons donc mis en place un système de communication qui implique que le premier message envoyé par Alice ne contient que la clef n. Pour cela nous avons mis en place un compteur qui s'incrémente dès l'envoi de la clef et donc si le compteur est à 0 c'est qu'il s'agit du premier message.

Voici un screenshot du programme serveur, ainsi que du programme client :

- voici Bob :

```
import socket, sys, os
from fonctions_projet import *

adresse_ip = 'localhost'
port = 8790
temps_attente = 15 #nombre de secondes d'attente de connexion
e = 65537


socquette = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM, socket.IPPROTO_TCP) # ouverture du socket
socquette.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1)
socquette.bind((adresse_ip, port))
socquette.listen(temps_attente) #attente de connexion

connexion, TSAP_depuis = socquette.accept()
cpt = 0
while True:
    if cpt == 0:
        print("Premiere connexion depuis : " , TSAP_depuis)
        cle=connexion.recv(1024)
        cle= cle.decode('utf-8')
        if cle !="":
            n = int(cle)
            print ("la clé est n = ", n, "\n")
            M =int(input("Saisissez votre message : \n"))
            C = powmod(M,e,n)
            C = str(C).encode('utf-8')
            connexion.sendall(bytes(C))
            cpt += 1
socquette.close()
```

- et voici Alice

```
import socket, sys, os
from fonctions_projet import *

adresse_serveur = socket.gethostbyname('localhost')
porc = 8790
socquette = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

try:
    socquette.connect((adresse_serveur, porc))
except Exception as e:
    print("On a un problème", e.args)
    sys.exit(1)


p = nombre_premier(3)
q = nombre_premier(4)
n= p * q
phi_n = (p-1) * (q-1)
e = 65537
d = modinv(e, phi_n)
cpt = 0



while True:
    if cpt == 0:
        message = str(n).encode('utf-8')
        socquette.sendall(bytes(message))
        chiffre = socquette.recv(1024)
        if not chiffre:
            break
        print(chiffre, 'Reçu')
        chiffre = int(chiffre.decode('utf-8'))
        print(chiffre)
        clair = powmod(chiffre, d, n)
        print(clair)
        cpt += 1
    #message = (input("Entrez un message à envoyer\n")).encode("utf-8")


socquette.close()
```

Dans l'état actuel, ces programmes ne peuvent que chiffrer qu'un échange d'entiers. Ils fonctionnent comme suit :

- on lance en premier le serveur, puis le client
- Alice crée immédiatement sa paire de clefs et envoie à Bob la clef publique n.
- Bob reçoit la clef, écrit le message qu'il veut envoyer (dans la cas présent un entier).
- Ensuite il chiffre son message avec la clef qu'il vient de recevoir.
- Il l'envoie à Alice
- Alice réceptionne le chiffré, et utilise sa clef privée pour obtenir le clair de base

Ensuite nous sommes passés à la manière de chiffrer des chaines de caractères. L'idée est la suivante : l'utilisateur (Bob) saisit au clavier une chaine de caractère. La chaîne de caractère est ensuite encodée en UTF-8. On peut ensuite convertir cette chaine de bytes en un entier avec la fonction « $entier = int.from\_bytes(bytes, byteorder = 'big')$ ». Ainsi nous pouvons manipuler l'entier pour effectuer les calculs nécessaires aux chiffrements RSA. Puis Bob reconverti l'entier trouvé en bytes grâce à la commande « $C = C.to\_bytes(C.bit\_length() //8 + 1, byteorder = 'big')$ » La chaîne de bytes ainsi chiffrée est envoyé à Alice.

Maintenant Alice reconverti la chaine de bytes en un entier, retrouve l'entier originelle puis reconvertit cet entier en une chaîne de bytes toujours avec les commandes précédentes. La chaine de bytes peut à présent décodée. Si tout s'est bien passée Alice retrouve le message que Bob lui a envoyé.

Voici une nouvelle fois les screenshots des programmes :

- Bob :

```python
#!/usr/bin/python3

import socket, sys, os
from fonctions_projet import *

adresse_ip = 'localhost'
port = 8790
temps_attente = 15 #nombre de secondes d'attente de connexion
e = 65537


socquette = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM, socket.IPPROTO_TCP) # ouverture du socket
socquette.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1)
socquette.bind((adresse_ip, port))
socquette.listen(temps_attente) #attente de connexion

connexion, TSAP_depuis = socquette.accept()
cpt = 0
while True:
    if cpt == 0:
        print("Premiere connexion depuis : " , TSAP_depuis)
        cle=connexion.recv(1024)
        cle= cle.decode('utf-8')
        if cle !="":
            n = int(cle)
            print ("la clé est n = ", n, "\n")
            M =input("Saisissez votre message : \n")
            M=M.encode('utf-8')
            C=int.from_bytes(M, byteorder='big')
            C = powmod(C,e,n)
            C=C.to_bytes(C.bit_length()//8 + 1, byteorder='big')
            #C = str(C).encode('utf-8')
            connexion.sendall(bytes(C))
            cpt += 1
socquette.close()
```

- Et Alice

```python
import socket, sys, os
from fonctions_projet import *

adresse_serveur = socket.gethostbyname('localhost')
porc = 8790
socquette = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

try:
    socquette.connect((adresse_serveur, porc))
except Exception as e:
    print("On a un problème", e.args)
    sys.exit(1)


p = nombre_premier(3)
q = nombre_premier(4)
n= p * q
phi_n = (p-1) * (q-1)
e = 65537
d = modinv(e, phi_n)
cpt = 0



while True:
    if cpt == 0:
        message = str(n).encode('utf-8')
        socquette.sendall(bytes(message))
        chiffre = socquette.recv(1024)
        if not chiffre:
            break
        print(chiffre, 'Reçu')
        m = int.from_bytes(chiffre,byteorder='big')
        print(m)
        clair = powmod(m, d, n)
        clair = clair.to_bytes(m.bit_length()//8+1, byteorder='big')
        clair=clair.decode()
        print(clair)
        cpt += 1
    #message = (input("Entrez un message à envoyer\n")).encode("utf-8")


socquette.close()
```

3 – Détails des fonctions

Fonction découpage

```python
def decoupage(message, l):
        #fonctions pour découper un message en morceaux de longueur l
        #problème si len(message) n'est pas multiple de l
        n = len(message)
        if n%l !=0:
                message = message + (l - n%l)*"X" #padding avec des X
                n = n + l - n%l
        Liste_message = []
        q = n//l
        for i in range(q):
                Liste_message.append(message[i*l : l+i*l])
        return Liste_message
```

Cette fonction prend en entrée une chaîne de caractères M et un entier l et ressort une liste qui contient la chaîne initiale découpée en morceaux de longueur l. De plus si la longueur de

la chaîne n'est pas un multiple de l, la fonction complète la chaîne en faisant du padding avec des X de sorte que tous les bouts soient de même longueur.

Fonction chiffrage

```
76  def chiffrage(message,e,n):
77          M=message.encode('utf-8')
78          C=int.from_bytes(M, byteorder='big')
79          C = powmod(C,e,n)
80          C=C.to_bytes(C.bit_length()//8 + 1, byteorder='big')
81          return C
82
```

Cette fonction prend en argument une chaine de caractère M et renvoie une chaîne de bytes C chiffrée par RSA. Pour cela on encode M avec le format UTF-8, on transforme la chaîne en un entier, on chiffre l'entier avec la méthode RSA et enfin on reconvertit l'entier en une chaîne de bytes pour pouvoir la transmettre.

Fonction déchiffrage

```
83  def dechiffrage(chiffre,d,n):
84          m = int.from_bytes(chiffre,byteorder='big')
85          clair = powmod(m, d, n)
86          clair = clair.to_bytes(m.bit_length()//8+1, byteorder='big')
87          clair=clair.decode()
88          return clair
```

Cette fonction marche à l'inverse de la précédente. Elle prend en argument une chaîne de bytes, et renvoie une chaîne de caractères. Pour cela, elle transforme la chaîne de bytes en un entier, applique la fonction réciproque du RSA (c'est-à-dire l'inversion modulo n), transforme cet entier en une chaîne de bytes que l'on pourra ensuite décoder avec le format UTF-8.

Fonction nombre_premier

Cette fonction prend en argument un nombre entier et renvoie un nombre premier selon le protocole imposé dans le sujet. L'argument détermine la taille de la seed utilisée pour la génération.

```python
def nombre_premier(n):
        n_0=random.choice('1379')
        n_max=random.choice('123456789')

        n_i=n_0

        for i in range(1,n-1):
                n_i=n_i+random.choice('0123456789')

        n_i=n_i+n_max
        p=int(n_i)

        commande=subprocess.run("openssl prime %d 2> /dev/stdout"%p, shell=True, stdout=subprocess.PIPE)
        mon_exp_reguliere=re.compile(r"is not prime")

        resultat=mon_exp_reguliere.search(str(commande))

        while(resultat):
                n_i=n_i[1:]+random.choice('0123456789')+random.choice('1379')
                p=int(n_i)
                commande=subprocess.run("openssl prime %d 2> /dev/stdout"%p, shell=True, stdout=subprocess.PIPE)
                resultat=mon_exp_reguliere.search(str(commande))
        return p
```

Tout d'abord, pour cette fonction nous avons suivi la méthode conseillée dans le sujet et donc choisi *n0* dans la liste {1,3,7,9}. Tous les autres chiffres de notre nombre seront entre 0 et 9 à l'exception de $nmax$ qui sera différent de 0. Ensuite, nous avons exécuté la commande subprocess indiquée pour vérifier si le nombre était premier ou non grâce à « subprocess.run ». A l'aide des expressions régulières nous savons si la commande nous renvoie "is prime" ou "is not prime", dans le cas où le nombre n'est pas premier on le modifie comme suggéré dans le document, jusqu'à ce qu'il le devienne.

4 – Améliorations introduites

Nous avons essayé d'introduire un chat chiffré entre les 2 interlocuteurs, ainsi que le chiffrement de plusieurs caractères à la fois (que l'on a directement introduit au programme). Cela a été surement la partie la plus dure du projet car il fallait gérer à la fois les sockets et le chiffrement RSA qui ne marchait pas à chaque fois. Pour réussir à faire parler les 2 personnes à la fois nous avons réutiliser le système de compteur qui était à 0 pour l'échange des 2 cotés. Dès la connexion d'Alice, les 2 utilisateurs s'échangent les clefs. Ensuite les compteurs et le chat peut avoir lieu.

(Les images des programmes ne tenant dans l'écran, par soucis de lisibilité je vous demanderais de regarder par vous-même les fichiers en question : client_alicechat.py et serveur_bobchat.py)

5 – Problèmes / bugs rencontrés

Une des choses qui nous a posé problème était la conversion entre entier et chaîne de bytes. Cette conversion nous a permis de chiffer des morceaux de chaines entier ce qui représente une partie importante du programme. Pour cela nous avons dû utiliser les fonctions $entier = int.from\_bytes(bytes, byteorder = 'big')$ et « $C = C.to\_bytes(C.bit\_length() //8 + 1, byteorder = 'big')$ » qui ne nécessitaient pas d'importer des modules supplémentaires. Dans les 2 fonctions on utilise l'expression « byteorder = 'big' » qui spécifie à l'ordinateur l'ordre d'écriture de chaque octet (big pour big endian et little pour little endian). Dans la deuxième fonction nous avons utilisé $C.bit\_length(\ )$ qui renvoie la taille en bits de l'entier. Nous avons ensuite divisé ce nombre par 8 pour trouver le nombre d'octet minimum nécessaire pour transformer l'entier en chaîne de bytes. Nous avons par la suite trouvé une méthode alternative pour remplacer ces fonctions (voir partie 6).

Aussi, un des problèmes qui nous a bloqué pendant longtemps (sans le savoir), était la taille des nombres premiers. En effet, la taille de n doit être très supérieure à la taille du message (au moins 3 fois sa taille en octets) sinon les calculs appliqués sur le chiffré ne donnaient pas le nombre de base mais sa classe d'équivalence modulo n ! Pour régler le problème nous avons régler la taille des seeds à 50 ce qui permet de pouvoir écrire un message donc la taille minimum est 33 octets.

6 – Mise à jour du rapport après la terrible nouvelle

C'est dans la soirée du lundi 4 janvier 2021 qu'une terrible nouvelle tombe : **l'utilisation des fonctions** $int.from\_bytes()$ **et** $to\_bytes()$ **est désormais INTERDITE.** Après avoir encaissé ce choc nous avons dû chercher un nouveau moyen de chiffrer les messages. Le but étant d'effectuer les mêmes opérations c'est-à-dire passer d'une chaine de caractère à un entier puis d'un entier à une chaînes de bytes pour pouvoir l'envoyer dans le réseau. Après quelques tests dans un terminal Python, nous avons remarqué que l'on pouvait stocker la valeur décimale de chaque octet dans un tableau. A présent nous avons pensé à concaténer les différentes valeurs du tableau puis appliquer RSA sur ce nombre. Seulement comment séparer chaque valeur lors du déchiffrement ? En effet la valeur d'un octet étant comprise entre 0 et 255 on ne pouvait pas différencier les nombres à un, deux ou trois chiffres. Avec cette nouvelle problématique nous sont venues les 2 fonctions suivantes de chiffrement et déchiffrement :

```python
def nouv_chif(chaine,e,n):
        S = []
        A = bytes(chaine,'utf-8')
        for u in A:
                S.append(u) #on place chaque octet de la chaine dans un tableau
        for i in range(len(S)):
                if (S[i]<100):
                        S[i] +=900 #on place des repères pour les nombres plus petits que 100
                S[i]=str(S[i]) #on concatène les éléments du tableau
        X = ''.join(S)
        X = bytes(str(powmod(int(X),e,n)),'utf-8')
        return X

def nouv_dech(bitbit,d,n):
        X = int(bitbit.decode('utf-8'))
        X = str(powmod(X,d,n))
        M = decoupage(X,3) #on récupère toutes valeurs stockées lors du chiffrement
        for i in range(len(M)):
                M[i] = int(M[i])
                if (M[i]>=900):
                        M[i] -= 900 #on retrouve les valeurs initialement <100
        MesFin = (bytes(M)).decode('utf-8')
        return MesFin
```

Comme la valeur d'un octet ne peut dépasser 900 (on n'est jamais trop prudent), nous avons transformer les nombres à un ou deux chiffres en nombre à trois chiffres pour permettre le déchiffrement.

7 – Jeu d'essai et instructions

Pour exécuter le programme « basique », il faut :

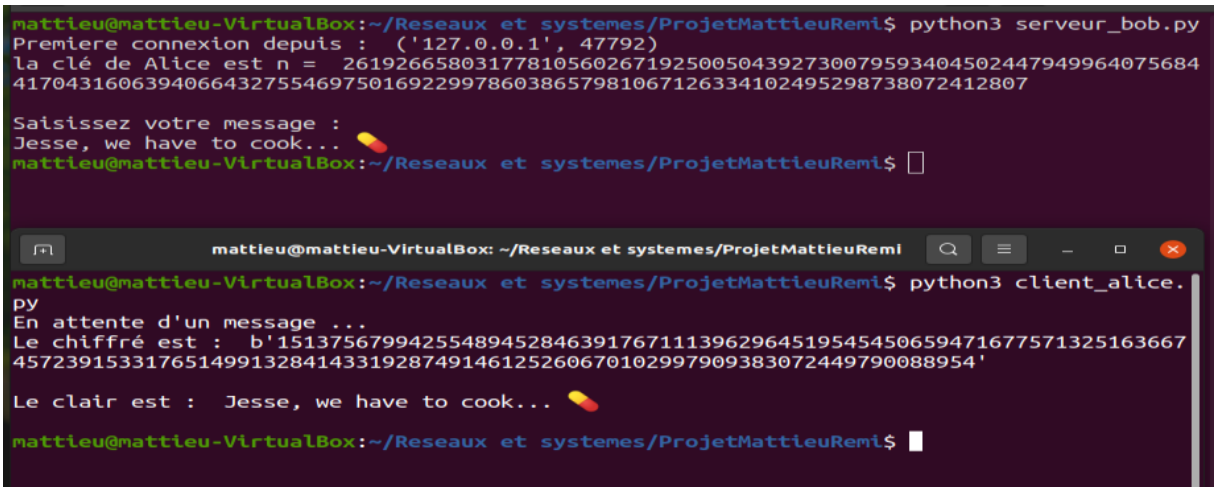
- se placer dans le dossier courant que l'on vous a envoyé
- lancer séparément et dans cette ordre les programmes serveur_bob.py et client_alice.py

Là, Alice envoie sa clef automatiquement à Bob et un message s'affiche sur le terminal de Bob : « Saisissez votre message : »

- Entrez à présent le message voulu (attention la taille du message en octet ne doit pas dépasser le tiers la taille de n)
- Pour écrire un message plus long, il suffit d'augmenter la variable $taille\_\min\_premier$ avec le risque que le programme mette plus de temps à s'exécuter.

Vous n'avez plus qu'à lire le chiffré et le clair sur le terminal d'Alice.

Voici un screen des terminaux lors du jeu d'essai :



Pour exécuter le programme comportant le « chat », il faut :

- se placer dans le dossier courant que l'on vous a envoyé
- lancer serveur_bobchat.py et attendre les instructions
- lorsqu'un message est apparu, lancer le programme client_alicechat.py

Vous n'avez plus qu'à suivre les instructions affichées sur le terminal et vous parler à vous-même.

NB : Les screenshots des programmes présents dans le rapport ne sont en aucun cas les versions finales du projet mais sont là à titre d'illustration.

Nous vous joignons aussi le lien du git de notre projet si vous voulez regarder notre progression : https://github.com/RemiDpt/ProjetMattieuRemi.git

Nous vous remercions d'avance pour votre lecture et l'attention que vous porterez à ce rapport.