LI310 - Examen 2010
Mardi 4 janvier 2011

Benjamin BARON

1 Cours

Question 1.1. Différence entre la cryptographie à clé secrète et la cryptographie à clé publique.

Cryptographie à clé secrète Il y a une seule clé (la clé secrète) partagée entre les utilisateurs à la fois pour le chiffrement et le déchiffrement.
Exemple. La cryptographie à clé secrète est utilisée dans 802.11 avec WEP.

Cryptographie à clé publique Il y a une seule paire de clés :
- Clé publique : clé non secrète utilisée pour le chiffrement ;
- Clé privée : clé secrète utilisée pour le déchiffrement.

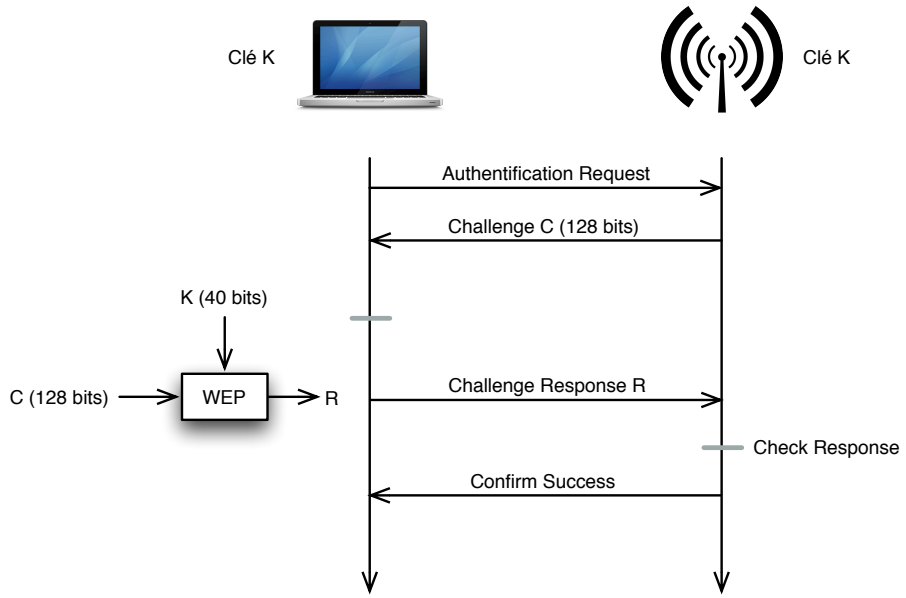
Exemple. La cryptographie à clé publique est utilisée dans GSM.

Question 1.2. L'avantage de la cryptographie à clé publique réside dans la facilité de distribution de la clé publique de chiffrement.

Dans la cryptographie à clé secrète, il y a une même clé partagée à la fois par le point d'accès et les terminaux, ce qui pose un problème pour sa diffusion.

Question 1.3. Dans les réseaux 802.11, la sécurité WEP (*Wired Equivalent Privacy*) se base sur la cryptographie à clé secrète. Une même clé WEP est partagée entre les terminaux et le point d'accès (généralement inscrite sur la box).

Question 1.4. Schéma d'authentification avec WEP dans 802.11.



Question 1.5. Dans la sécurité WEP, l'ICV (Integrity Check Value) calculé par l'algorithme CRC-32 est utilisé pour vérifier l'intégrité du message transmis entre deux terminaux. L'algorithme CRC-32 détecte des inversions de bits, qui vont être alors considérées comme frauduleuses.

2 Transmission de données

Un signal porteur d'information de fréquences strictement inférieures à $f_{max} = 10$ kHz est numérisé. Chaque échantillon est quantifié en utilisant une échelle qui possède 128 niveaux quantifiés, codés en binaire. Le message numérique binaire produit est transmis à l'aide d'un code NRZ M-aire.

Question 2.1. Si l'on veut minimiser le débit binaire du message numérique produit à l'issue de l'opération de numérisation, d'après le théorème d'échantillonnage de Shannon, on a :

$$f_e > 2f_{max} \Rightarrow f_e = 20 \text{ kHz}$$

Question 2.2. Pour permettre la transmission de ce message numérique, la capacité C du canal de transmission doit vérifier :

$$C \geqslant D_{source} = \frac{\text{Nb bits / échantillon}}{T_e} = \text{Nb bits / échantillon} \times f_e = \log_2(128) \times 20.10^3 = 140 \text{ kbit/s}$$

Question 2.3. Le canal de transmission possède une largeur de bande passante B égale à 90 kHz. Afin d'autoriser l'usage d'un code détecteur d'erreur, la transmission doit s'effectuer à un débit binaire D_b de 200 kbit/s.

Calcul du rapport signal à bruit $(S/N)_{dB}$ minimal nécessaire en réception.

La capacité C du canal de transmission est telle que $C \geqslant D_b$.

Or d'après la loi de Shannon, la capacité C est égale à :

$$\begin{aligned} C = B\log_2\left(1+\frac{P_S}{P_N}\right) &\geqslant D_b \\ \frac{P_S}{P_N} &\geqslant 2^{D_b/B} - 1 \\ (S/N)_{dB} &\geqslant 10\log_{10}\left(2^{D_b/B}-1\right) \text{ car } (S/N)_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_S}{P_N}\right) \\ (S/N)_{dB} &\geqslant 10\log_{10}\left(2^{200/90}-1\right) = 5,64 \text{ dB} \end{aligned}$$

Question 2.4. Supposons le rapport signal à bruit suffisant.

D'après la loi de Nyquist, on a

$$R_S \leqslant 2b\log_2(M) \Leftrightarrow M \geqslant 2^{D_b/2B} = 2,16$$

Or la valence M est une puissance de 2, donc $M = 2^2 = 4$.

La durée T_S des symboles est exprimée par :

$$T_S = \frac{\log_2(M)}{D_b} = \frac{\log_2(4)}{200.10^3} = 10 \ \mu\text{s}$$

Question 2.5. On souhaite augmenter la portée de la liaison. Le rapport signal à bruit en réception est alors de 2,4 dB. On se propose alors de diminuer le nombre n de niveaux de quantification du numérisateur de manière à ce que la transmission reste faisable.

On a la relation :

$$D_{source} = f_e \times \log_2(n) \leqslant C = B\log_2\left(1+\frac{P_S}{P_N}\right)$$

Or

$$\begin{aligned} (S/N)_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_S}{P_N}\right) &\Leftrightarrow \frac{P_S}{P_N} = 10^{\frac{(S/N)_{dB}}{10}} \\ &\Leftrightarrow \log_2(n) \leqslant \frac{B}{f_e}\log_2\left(1+10^{\frac{(S/N)_{dB}}{10}}\right) \\ &\Leftrightarrow n \leqslant 2^{B/f_e \log_2\left(1+10^{\frac{(S/N)_{dB}}{10}}\right)} = 92,66 \end{aligned}$$

Ainsi, $n = 64 = 2^6$ niveaux de quantification.

3 HDLC

Un équipement de transmission A situé sur un satellite dialogue avec un autre équipement B au sol à l'aide d'une liaison utilisant le protocole LAP-B (variante de HDLC). Le satellite se situe à $d = 36\,000$ km d'altitude. On considère que les temps de traitement des données (constitution et réception des trames) sont négligeables et que toute trame de données est instantanément acquittée.

On suppose que seul le transmetteur A situé sur le satellite envoie des données et que les trames émises en continu les unes à la suite des autres contiennent toutes un fanion de début et de fin. Toutes les trames sont acquittées individuellement. 8 La vitesse de propagation du signal est d'environ $c = 3.10^8$ m/s. La taille du champ de données de la trame est ici de 128 octets, l'entête du protocole est codé sur 56 bits et la liaison a un débit D_b de 64 kbit/s.

Question 3.1. Temps T durant lequel l'émetteur A devra conserver une trame dans son buffer en émission si l'on considère que les transmissions se font sans erreur et qu'une trame est transmise dès qu'elle est prête à être envoyée.

$$T = t_t + 2t_p + t_{ACK}$$

Temps de transmission t_t d'une trame de données :

$$t_t = \frac{L_{trame}}{D_b} = \frac{L_{data} + L_{header}}{D_b} = \frac{128 \times 8 + 56}{64.10^3} = 16,875 \text{ ms}$$

Temps de transmission t_{ACK} d'une trame ACK :

$$t_{ACK} = \frac{L_{ACK}}{D_b} = \frac{56}{64.10^3} = 0,875 \text{ ms}$$

Temps de propagation t_p entre A et B :

$$t_p = \frac{d}{c} = \frac{36\,000.10^3}{3.10^8} = 120 \text{ ms}$$

Ainsi, $T = t_t + 2t_p + t_{ACK} = 16,875 + 0,875 + 240 = 257,75$ ms.

Question 3.2. Taille minimale W_{min} de la fenêtre d'anticipation du satellite pour que la transmission soit la plus efficace possible.

Il faut que, avant la fin de la transmission des W_{min} trames consécutives, on ait reçu l'ACK de la première trame :

$$W_{min}.t_t \geqslant T \Leftrightarrow W \geqslant \frac{T}{t_t} \geqslant 15,25$$

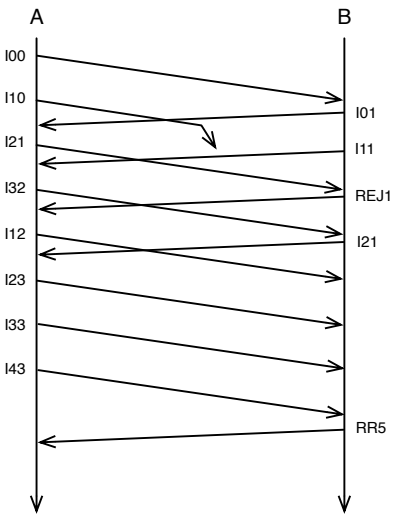
Ainsi, $W_{min} = 16$.

Question 3.3. Relation entre la taille W de la fenêtre d'anticipation et le nombre n de bits sur lequel est codé le numéro de séquence de la trame.

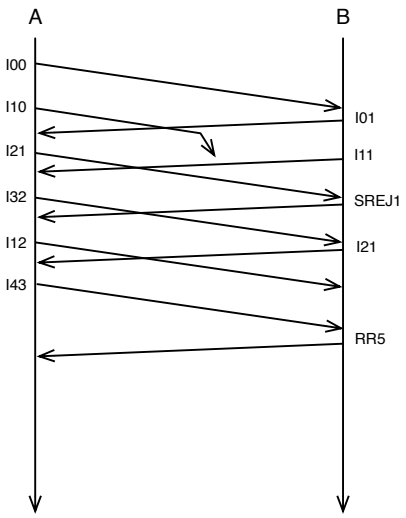
Il faut que le nombre de valeur (numéro de séquence) que l'on peut adresser avec n éléments binaires (bits) soit supérieur à W. Ainsi, $2^n \geqslant W$.

Question 3.4. Dans HDLC, il est spécifié que le numéro de trame est codé sur 3 ou 7 bits. D'après les questions 2 et 3, on a $16 \leqslant W \leqslant 2^n$.
– Si $n = 3$, alors $16 \leqslant W \leqslant 8$: impossible
– Si $n = 7$, alors $16 \leqslant W \leqslant 128$: possible
La valeur $n = 7$ conviendrait.

Question 3.5. Compléter le schéma.



Rejet global



Rejet séléctif

4 Réseaux locaux et CSMA/CD

Rappel. Une station qui souhaite transmettre des données respecte les étapes suivantes :

1. Ecoute du canal pendant une durée équivalente à la transmission de 96 bits afin de s'assurer que le canal est libre.
2. Si le canal est libre alors la machine transmet ses données.
3. Si la machine détecte une collision, elle continue à émettre 32 bits (séquence de brouillage $t_{jam} = {}^{32}/_{D_b} = 3,2$ μs) puis cesse son émission, elle attend ensuite pendant un certain temps aléatoire (retrait exponentiel) et recommence à l'étape 1. L'algorithme de retrait exponentiel consiste à attendre un temps aléatoire compris entre 0 et $\min(2^i, , 1023)$ intervalles de temps élémentaires (*slot-time*) après la i-ème collision. Après 16 tentatives d'envoi échouées, l'émetteur abandonne.

Dans les questions ci-dessous on suppose que lorsqu'une station veut transmettre, le canal est toujours libre (ce qui n'empêche pas les collisions par la suite). On prendra soin d'écrire le résultat sous forme littérale avant de passer à l'application numérique :
– Débit $D_b = 10$ Mbit/s
– Taille maximale du champ de données d'une trame Ethernet $L_{data} = 1500$ octets
– Longueur du câble $d = 2,5$ km
– Vitesse de propagation $c = 100\,000$ km/s
– Intervalle de temps élémentaire $TS = 51,2$ μs

Question 4.1. Durée T_{ecoute} correspondant au temps d'écoute obligatoire de l'étape 1 :

$$T_{ecoute} = 96 \times T_b = \frac{96}{D_b} = \frac{96}{10.10^6} = 96 \ \mu\text{s}$$

Question 4.2. Temps t_t de transmission d'une trame Ethernet de taille maximale.

$$t_t = (L_{data} + L_{header}) \times T_b = \frac{L_{data} + L_{header}}{D_b} = \frac{(1500 + 26) \times 8}{10.10^6} = 1220,8 \ \mu\text{s}$$

Question 4.3. Temps t_1 qui s'écoule au minimum entre le moment où une machine veut envoyer une trame de taille maximale et le moment où la trame est intégralement reçue par le destinataire.

$$t_1 = t_{ecoute} + t_t + t_p = 9,6 + 1220,8 + 25 = 1255,4 \ \mu\text{s}$$

En effet, le temps de propagation t_p est égal à

$$t_p = \frac{d}{c} = \frac{2,5}{100\,000} = 25 \ \mu\text{s}$$

Remarque. On peut considérer $t_p = 0$ si la machine destinataire est proche de la machine émettrice.

Question 4.4. On suppose qu'il y a collision. Temps t_2 qui s'écoule au maximum entre le moment où une machine veut envoyer une trame et le moment où cette machine détecte la collision.

$$t_2 = t_{ecoute} + 2 \times t_p = 2 \times 25 + 9,6 = 59,6 \ \mu\text{s}$$

Question 4.5. Temps t_3 qui s'écoule au maximum entre le moment où une machine veut envoyer une trame et le moment où la trame est intégralement reçue par le destinataire en supposant qu'il y a une seule collision.

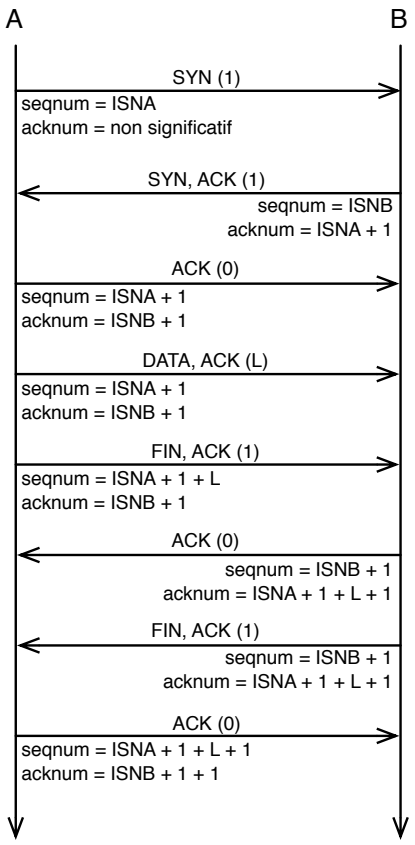
$$\begin{aligned} t_3 &= t_{ecoute} + 2t_p + t_{jam} + 1 \times TS + t_{ecoute} + t_t + t_p \\ t_3 &= 59,6 + 3,2 + 51,2 + 1255,4 = 1369,4 \ \mu\text{s} \end{aligned}$$

Question 4.6. On suppose qu'il y a une collision à chaque envoi. Temps t_4 qui s'écoule au maximum entre le moment où la machine veut envoyer une trame et le moment où la machine abandonne (16 échecs).

$$\begin{aligned} t_4 &= \sum_{i=1}^{15} \Big(t_{ecoute} + 2t_p + t_{jam} + \min\Big(2^i - 1,\, 1023\Big) \times TS \Big) + t_{ecoute} + 2t_p + t_{jam} \\ &= 16 \times (t_{ecoute} + 2t_p + t_{jam}) + (1 + 3 + 7 + 15 + 31 + 63 + 127 + 255 + 511 + 1023 \times 6) \times TS \\ t_4 &= 16 \times (59,6 + 3,2) + 7151 \times 51,2 = 367\,136\ \mu\text{s} \end{aligned}$$

5 TCP

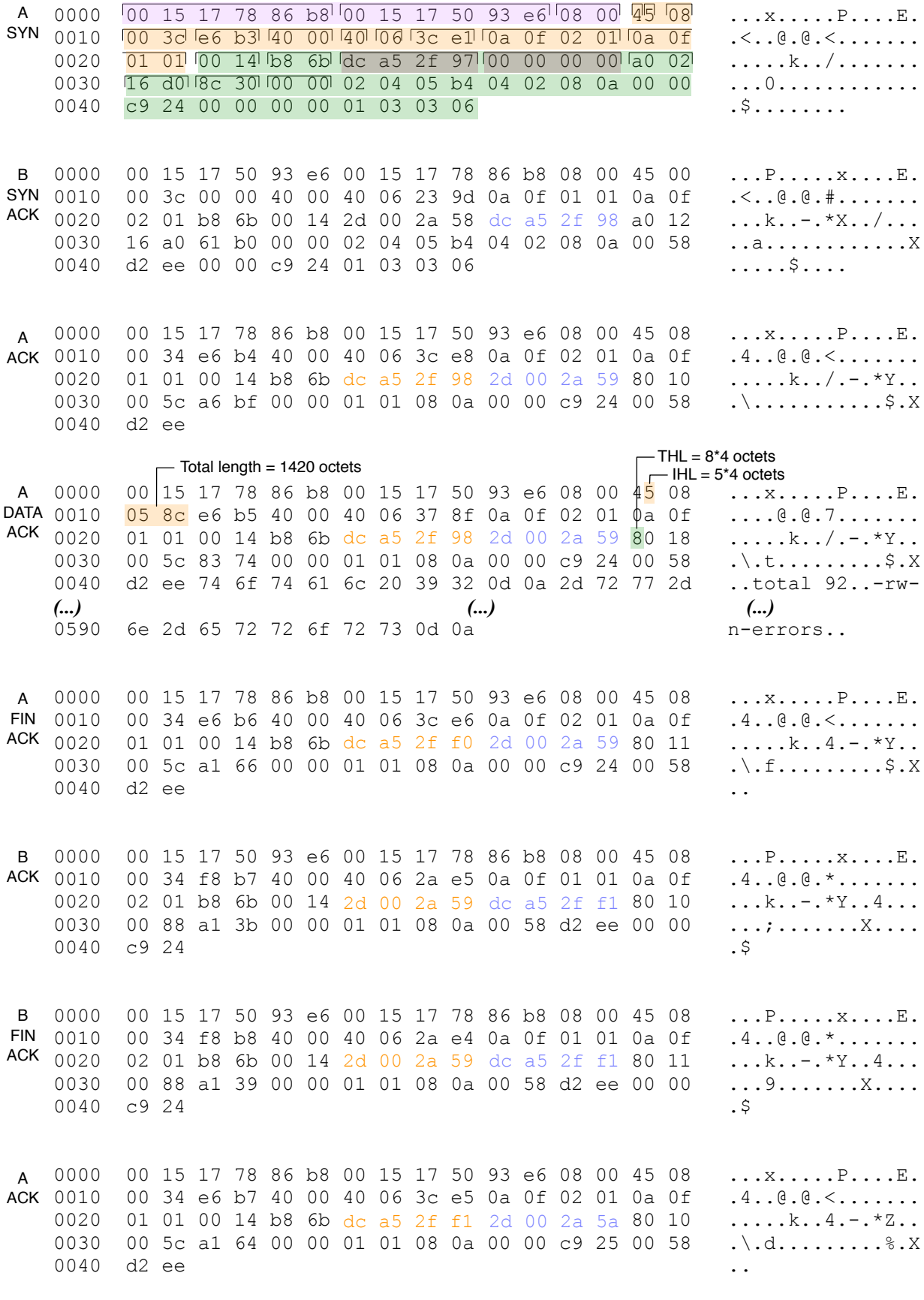
Echange considéré :



Question 5.1. ISN — *Initial Sequence Number* :
– Numéro de séquence initial (ISN) de A : `DC:A5:2F:67` ;
– Numéro de séquence initial (ISN) de B : `2D:00:2A:58`.

Question 5.2. Dans la trace, le segment de données (4e trame) a été tronqué. Nombre L d'octet que ce segment TCP transporte :
– Longueur du datagramme IP : champ `Longueur totale` : 0x058C = 142 octets ;
– Longueur du header IP : champ `IHL` : 5×4 octets ;
– Longueur du header TCP : champ `THL` : 8×4 octets.
Ainsi, $L = 1420 - 20 - 32 = 1368$ octets.

Question 5.3. Trace considérée.


A SYN
B SYN ACK
A ACK
A DATA ACK
Total length = 1420 octets
THL = 8*4 octets
IHL = 5*4 octets
A FIN ACK
B ACK
B FIN ACK
A ACK