

---

**R316-ROM**  
**Ingénierie de la téléphonie sur IP**  
**Travaux dirigés**

---

Sami Evangelista  
IUT de Villetaneuse  
Département Réseaux et Télécommunications  
2025–2026

<http://www.lipn.univ-paris13.fr/~evangelista/cours/R316-ROM>

**Table des matières**

<b>TD 1 — Le protocole SIP</b>	<b>2</b>
<b>TD 2 — RTP et RTCP</b>	<b>8</b>

Sources des images utilisées dans ce document:

<http://www.lipn.univ-paris13.fr/~evangelista/cours/credits.html>

Ce document est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons “Attribution – Pas d’utilisation commerciale – Partage dans les mêmes conditions 4.0 International”.



# TD 1 — Le protocole SIP

## Exercice 1 — Analyse d'un message SIP INVITE

On capture le message SIP INVITE ci-dessous. Ce message a été reçu par le proxy SIP 1.2.3.4:5060. Ce proxy SIP est celui de l'appelé. On se propose dans cet exercice d'analyser ce message.

```
1 INVITE sip:max@ideasip.com SIP/2.0
2 CSeq: 1 INVITE
3 Via: SIP/2.0/UDP 10.0.2.24:5060
4 Via: SIP/2.0/UDP 6.7.8.9:5060
5 User-Agent: Ekiga/4.0.1
6 Call-ID: 54d5b754-cdbe-e611-885f
7 To: <lt;sip:max@ideasip.com>>
8 Content-Length: 458
9 Content-Type: application/sdp
10 Max-Forwards: 69
11
12 v=0
13 o=- 1481542778 1 IN IP4 10.0.2.24
14 s=Ekiga/4.0.1
15 c=IN IP4 10.0.2.24
16 t=0 0
17 m=audio 54678 RTP/AVP 116 0 8 101
18 a=sendrecv
19 a=rtpmap:116 Speex/16000/1
20 a=rtpmap:8 PCMA/8000/1
21 a=rtpmap:101 telephone-event/8000
22 a=fmtp:101 0-16,32,36
```

**Q 1.1** Identifier la ligne de requête, l'en-tête et le corps.

**Correction**

- ligne 1 : ligne de requête
- lignes 2 à 10 : en-tête (liste de champs de la forme champ: valeur terminée par une ligne vide)
- lignes 12 à 22 : corps

**Q 1.2** Quel est l'URI de l'appelé ?

**Correction**

L'URI de l'appelé (ou *request-URI*) apparaît toujours dans la ligne de requête en 2<sup>ème</sup> position. Ici, c'est sip:max@ideasip.com.

**Q 1.3** Quelle est l'adresse IP de l'UA appelant ?

**Correction**

L'adresse IP de l'appelant apparaît dans le premier champ *Via* du message. Ici, c'est 10.0.2.24.

**Q 1.4** Par quel proxy SIP le message est-il ensuite passé ?

**Correction**

Les champs *Via* se trouvant ensuite donnent les identités des proxys SIP par lesquels le message a ensuite transité. Dans ce cas, le message est passé par un unique proxy SIP : 6.7.8.9.

**Q 1.5** Pourquoi a-t-on besoin de mémoriser dans un message INVITE les proxys par lesquels ce message transite ?

**Correction**

Les messages envoyés en réponse au INVITE (le message *180 Ringing* envoyé pour indiquer la sonnerie et le message *200 OK* envoyé lorsque l'utilisateur décroche) doivent suivre le même chemin (passer par les mêmes Proxys).

**Q 1.6** Qu'a fait la machine (UA ou proxy) ayant envoyé le message SIP à 1.2.3.4 avant l'envoi ?

**Correction**

Le proxy 6.7.8.9 a interrogé le serveur DNS du domaine ideasip.com (dans la request-URI) afin d'avoir l'adresse IP et le port du serveur SIP de ce domaine. Deux échanges ont eu lieu :

- 6.7.8.9 demande le nom du serveur SIP du domaine ideasip.com. Il demande pour cela l'enregistrement SRV du nom `_sip._udp.`
- Une fois le nom du serveur SIP connu, 6.7.8.9 demande son adresse IP.

**Q 1.7** Que fera le proxy 1.2.3.4:5060 à la réception de ce message et comment modifiera-t-il ce message avant de l'en-

voyer à l'UA appelé?

**Correction**

3 choses :

- Il consulte le registre de son domaine (`ideasip.com`) pour trouver l'IP et le port SIP de l'utilisateur max afin de lui relayer le message INVITE.
- Il rajoute le champ d'en-tête `Via: SIP/2.0/UDP 1.2.3.4:5060` à la suite du dernier champ `Via` (l. 4).
- Il décrémente le champ `Max-Forwards` (ligne 10) et le passe à 68.

**Q 1.8** Quelle est l'utilité de la ligne 10?

**Correction**

Fixer le nombre max. de proxys SIP par lesquels le message INVITE peut transiter. Ce champ à la même utilité que le TTL de la couche IP.

**Q 1.9** À quoi servent les lignes 13 à 23? Citer quelques informations importantes que l'on peut trouver dans ces lignes.

**Correction**

Donner les paramètres de l'échange RTP (transport de la voix), par exemple :

- l'IP sur laquelle il faut envoyer le flux RTP (l. 15) : `10.0.2.24`
- le port sur lequel il faut envoyer le flux RTP (l. 17) : `54678`
- le codec utilisé (l. 20) : `8 PCMA/8000` qui correspond au codec G711

**Exercice 2 — SIP et NAT**

On considère toujours dans cet exercice le message INVITE de l'exercice précédent.

**Q 2.1** L'UA appelant est derrière une passerelle NAT. À quoi le voit-on?

**Correction**

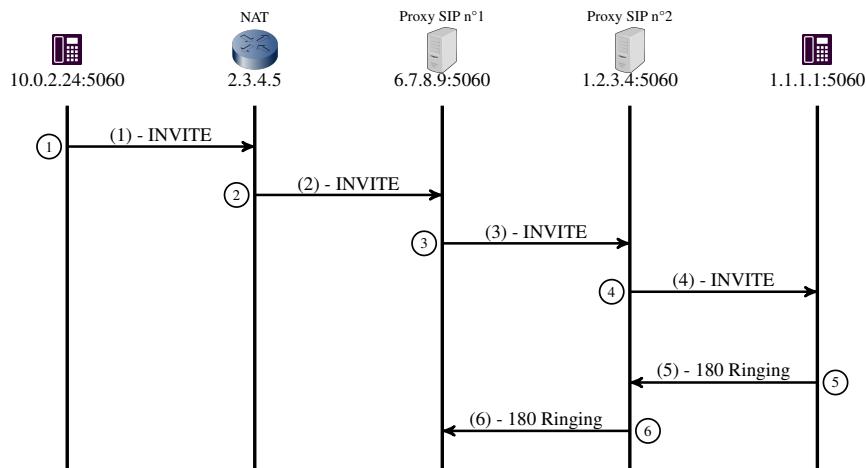
L'IP de l'UA appelant est de la forme `10.X.Y.Z`.

**Q 2.2** L'UA appelant et le premier proxy traversé ne sont pas sur le même réseau privé. À quoi le voit-on?

**Correction**

L'IP du premier proxy est `6.7.8.9` (une IP publique). S'il était sur le même réseau privé que l'UA appelant, on verrait son adresse privée (de la forme `10.X.Y.Z`) dans le premier champ `Via` du message INVITE.

**Q 2.3** L'UA appelé reçoit ce message et la sonnerie démarre. L'utilisateur appelé décroche. Cependant, l'appelant n'en est pas prévenu : son UA ne reçoit aucun message SIP en réponse à son INVITE. Avec Wireshark, on arrive à reproduire le diagramme ci-dessous.



Expliquer le problème en complétant le tableau ci-dessous.

paquet	IP et port source	IP et port dest.	champs Via
1			
2			
3			
4			
5			
6			

On supposera

- que l'IP publique de la passerelle NAT est 2.3.4.5 ;
- que la passerelle NAT attribue le port public 10000 à l'UA ;
- et que l'IP de l'UA appelé est 1.1.1.1.

**Correction**

paquet	IP et port source	IP et port dest.	champs Via
1	10.0.2.24:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
2	2.3.4.5:10000	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
3	6.7.8.9:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060 Via : 6.7.8.9:5060
4	1.2.3.4:5060	1.1.1.1:5060	Via : 10.0.2.24:5060 Via : 6.7.8.9:5060 Via : 1.2.3.4:5060
5	1.1.1.1:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060 Via : 6.7.8.9:5060
6	1.2.3.4:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060

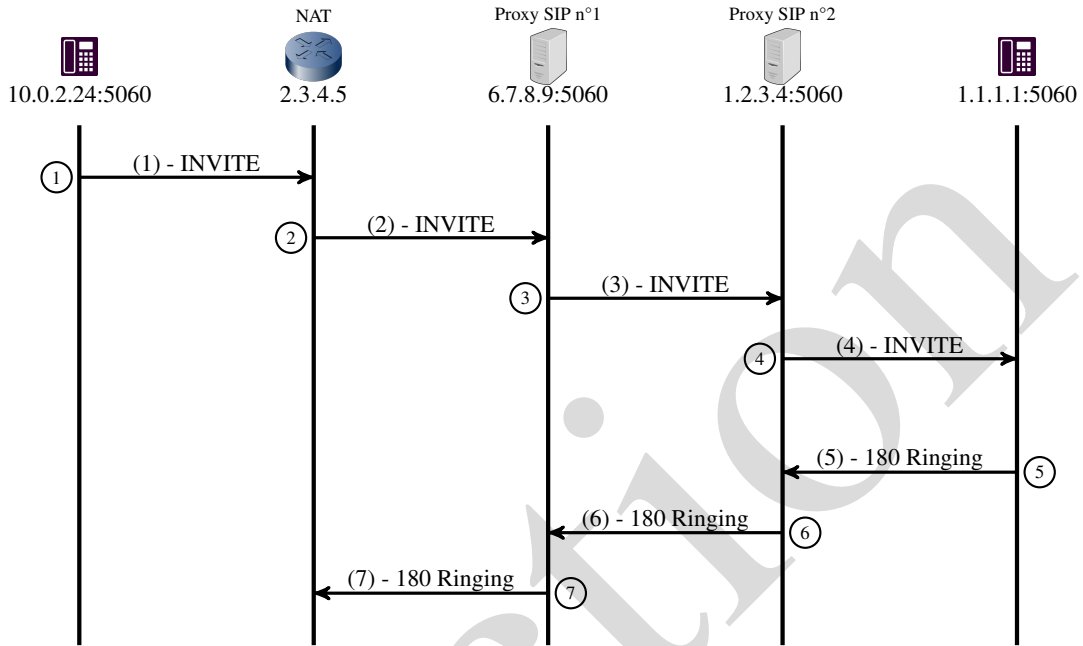
À la réception du paquet 6, le proxy 1 va essayer de router le message Ringing vers l'IP 10.0.2.24. Celle-ci étant l'IP privée de l'UA appelant, le message ne pourra pas être routé. Les messages SIP envoyés par l'UA appelé en réponse à l'INVITE ne passeront donc pas le proxy 1. ◆

**Q 2.4** On suppose maintenant que les proxys SIP traversés utilisent l'option SIP received (mais pas rport). Qu'est ce qui changera alors dans le diagramme de la question précédente ? Quel problème sera maintenant constaté ?

**Correction**

Grâce à l'option received, le proxy 1 va rajouter dans le champ Via, l'IP publique de l'UA appelant. Cette IP publique va se retrouver dans tous messages SIP suivants. Ainsi, le proxy 1 pourra router le message Ringing vers l'IP publique de l'UA appelant. Par contre, la passerelle NAT ne saura pas vers quelle machine de son réseau privé router le message Ringing car sa table de translation contient le couple suivant : (IP+port privé = 10.0.2.24:5060, IP+port public = 2.3.4.5:10000). Or le message Ringing qui lui parvient est destiné à 2.3.4.5:5060.

Le diagramme obtenu est donc le suivant :

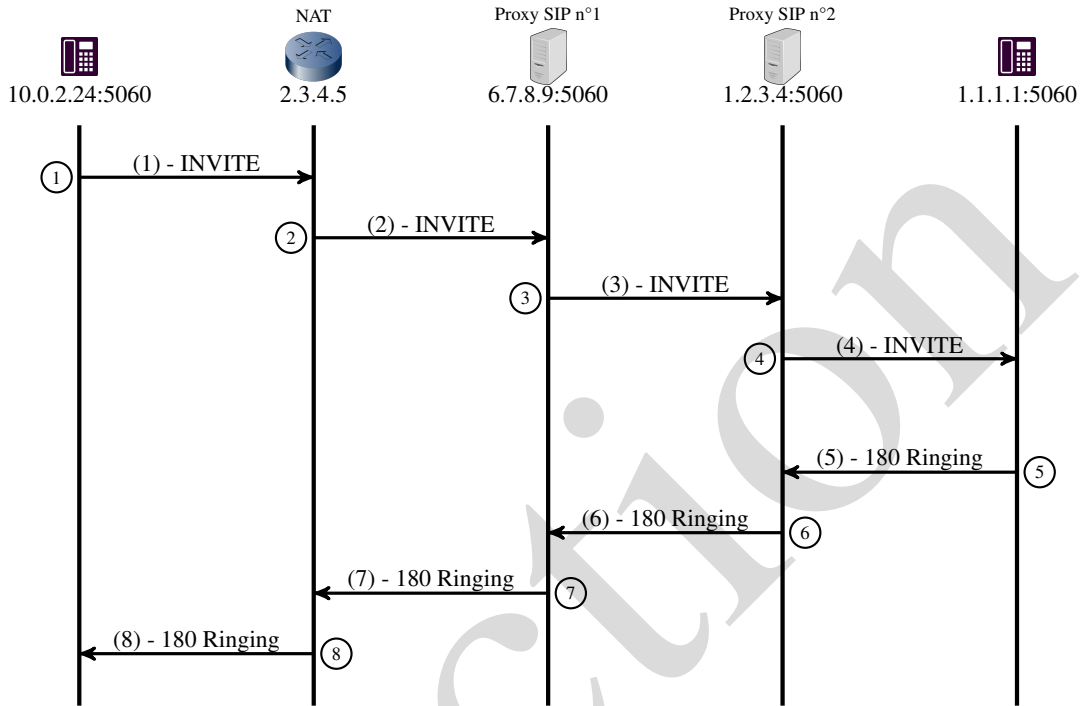


paquet	IP et port source	IP et port dest.	champs Via
1	10.0.2.24:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
2	2.3.4.5:10000	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
3	6.7.8.9:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5 Via : 6.7.8.9:5060
4	1.2.3.4:5060	1.1.1.1:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5 Via : 6.7.8.9:5060 Via : 1.2.3.4:5060
5	1.1.1.1:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5 Via : 6.7.8.9:5060
6	1.2.3.4:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5
7	6.7.8.9:5060	2.3.4.5:5060	Via : —

**Q 2.5** On suppose maintenant que les proxys SIP traversés utilisent les options SIP `received` et `rport`. Qu'est ce qui changera alors dans le diagramme de la question précédente ?

**Correction**

Grâce à l'option `rport` la passerelle NAT saura maintenant comment router le paquet vers l'UA appelant. Le diagramme obtenu est le suivant :



paquet	IP et port source	IP et port dest.	champs Via
1	10.0.2.24:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
2	2.3.4.5:10000	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060
3	6.7.8.9:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5;rport=10000 Via : 6.7.8.9:5060
4	1.2.3.4:5060	1.1.1.1:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5;rport=10000 Via : 6.7.8.9:5060 Via : 1.2.3.4:5060
5	1.1.1.1:5060	1.2.3.4:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5;rport=10000 Via : 6.7.8.9:5060
6	1.2.3.4:5060	6.7.8.9:5060	Via : 10.0.2.24:5060;received=2.3.4.5;rport=10000
7	6.7.8.9:5060	2.3.4.5:10000	Via : —
8	6.7.8.9:5060	10.0.2.24:5060	Via : —

**Q 2.6** Avec la modification de la question précédente, le flux RTP passe dans un seul sens : seul un des deux utilisateurs reçoit du son. Lequel et pourquoi (voir le message INVITE de l'exercice précédent) ?

**Correction**

C'est l'UA 1.1.1.1 qui recevra du son. L'UA 10.0.2.24 ne recevra aucun paquet RTP. En effet, dans le corps SDP du message INVITE, l'UA appelant a indiqué une adresse privée (l. 15 du message). Ainsi, l'UA 1.1.1.1 ne pourra pas lui envoyer de paquets RTP. Par contre, dans son message OK envoyé en réponse au INVITE, l'UA appelé aura bien placé une adresse publique (1.1.1.1) vers laquelle l'UA appelant pourra envoyer son flux RTP.

**Q 2.7** On configure l'UA appelant pour qu'il utilise un serveur STUN. Modifier de nouveau le diagramme pour faire apparaître ce serveur. Comment le contenu des messages INVITE est alors modifié et quel est le changement observé par les utilisateurs par rapport à la question précédente ?

**Correction**

Avant le message 1, l'UA contacte le serveur STUN qui lui répond en plaçant dans sa réponse son adresse IP publique (2.3.4.5) et son port public (par exemple, 10 001). L'UA utilise ensuite ceux-ci dans son message INVITE. Le corps du message devient ainsi :

```

1 v=0
2 o=- 1481542778 1 IN IP4 2.3.4.5
3 s=Ekiga/4.0.1
4 c=IN IP4 2.3.4.5
5 t=0 0
6 m=audio 10001 RTP/AVP 116 0 8 101
7 a=sendrecv
8 a=rtpmap:116 Speex/16000/1
9 a=rtpmap:8 PCMA/8000/1
10 a=rtpmap:101 telephone-event/8000
11 a=fmtp:101 0-16,32,36
    
```

L'adresse IP et le port à utiliser pour le flux RTP qui sont transmis dans le message INVITE sont donc publics (voir lignes 2, 4 et 6). L'UA appelant peut maintenant recevoir les paquets RTP puisque l'autre UA les transmet à 2.3.4.5:10001. ◆

Correction

## TD 2 — RTP et RTCP

### Exercice 1 — RTP

**Q 1.1** On utilise le codec G711. Quel est le débit minimum nécessaire au transport de la voix sur un réseau Ethernet si l'on émet les octets produits par ce codec toutes les 20ms ?

**Correction**

En 20ms, le codec produit  $8000 \times 20 \times 10^{-3} = 160$  octets. Une trame contenant de la voix fera donc  $26(Ethernet) + 20(IP) + 8(UDP) + 12(RTP) + 160 = 226$  octets. Le débit minimum nécessaire est donc de  $\frac{226 \times 8}{20 \times 10^{-3}} = 90,04$  kbit/s soit 11,3 ko/s. ♦

**Q 1.2** Le programmeur d'un logiciel de téléphonie utilisant le codec G711 a fixé la taille du tampon d'émission RTP à 1 400 octets. Discuter de ce choix.

**Correction**

Le codec G711 a une fréquence d'échantillonnage de 8khz. Le temps de production des 1 400 octets est donc de  $\frac{1400}{8000} = 175ms$ . Avec 175ms on est déjà au-delà des 100ms qui est le délai max. pour une bonne qualité. Il faut de plus rajouter à ces 175ms : le temps de transmission des divers en-têtes, le temps de traversée des couches, le délai d'acheminement, ... ♦

### Exercice 2 — RTCP

**Q 2.1** On se replace dans les conditions de la question Q 1.1. Quel est le nombre maximal de rapports RTCP que l'UA peut fournir en une seconde ? On supposera qu'un rapport RTCP a une taille de 100 octets.

**Correction**

Le trafic RTCP doit représenter au maximum 5% de la session (trafic RTP + RTCP). Les bandes passantes allouées au trafic RTP et RTCP notées respectivement  $BP_{RTP}$  et  $BP_{RTCP}$  doivent donc vérifier :

$$BP_{RTCP} \leq \frac{5}{100} \times (BP_{RTP} + BP_{RTCP})$$

soit :

$$BP_{RTCP} \leq \frac{5}{95} \times BP_{RTP} = \frac{5}{95} \times 90,04 = 4,73894 \text{ kbit/s}$$

Une trame RTCP fait  $26 + 20 + 8 + 100 = 154$  octets. Le nombre maximal de trames RTCP que l'on peut envoyer en une seconde est donc :  $\frac{4738,94}{154 \times 8} = 3,84$ , soit 3 rapports. ♦

**Q 2.2** Compléter le tableau suivant en donnant la gigue calculée par RTCP.  $T_e$  correspond au temps d'émission du paquet et  $T_r$  à son temps de réception. Arrondir les valeurs au centième.

Paquet	$T_e$	$T_r$	Gigue instantané	Gigue
1	0	100	—	10
2	20	110		
3	40	160		
4	60	150		
5	80	180		
6	100	210		
7	120	240		

**Correction**

Paquet	$T_e$	$T_r$	Gigue instantané	Gigue
1	0	100	—	10
2	20	120	$ (120 - 100) - (20 - 0)  = 0$	$10 + \frac{0-10}{16} = 9,38$
3	40	160	$ (160 - 120) - (40 - 20)  = 20$	$9,38 + \frac{20-9,38}{16} = 10,04$
4	60	150	$ (150 - 160) - (60 - 40)  = 30$	$10,04 + \frac{30-10,04}{16} = 11,29$
5	80	180	$ (180 - 150) - (80 - 60)  = 10$	$11,29 + \frac{10-11,29}{16} = 11,2$
6	100	210	$ (210 - 180) - (100 - 80)  = 10$	$11,2 + \frac{10-11,2}{16} = 11,12$
7	120	270	$ (270 - 210) - (120 - 100)  = 40$	$11,12 + \frac{40-11,12}{16} = 12,92$

**Q 2.3** Les paquets 3 et 4 de la question précédente sont arrivés dans le désordre. Comment l'UA peut-il les réordonner ?

**Correction**

Grâce au champ *Num. de séquence* de l'en-tête RTP et à l'utilisation du tampon de réception. L'UA va placer le paquet 4 dans le tampon puis attendre avant de le restituer à l'utilisateur. Le paquet 3 sera ensuite placé dans le tampon (avant le paquet 4 car il a un numéro de séquence inférieur). Une fois le tampon plein, les octets de voix correspondants seront restitués à l'utilisateur. ❖

Correction