CyberEdu

La sécurité par l'enseignement supérieur des NTIC

Sensibilisation et initiation à la cybersécurité

Module 3 : les aspects réseau et applicatifs

24/05/2017

Contributeurs

Organisme	Nom
Université européenne de Bretagne	Dominique LE TALLEC, Aline BOUCARD
Université de Rennes 1	Gilles LESVENTES, Sébastien GAMBS
Université de Bretagne Occidentale	Laurent NANA
Université de Bretagne Sud	Guy COGNIAT
Télécom Bretagne	Frédéric CUPPENS, Nora CUPPENS, Gouenou COATRIEUX, Patrick ERARD
Ecole Normale Supérieure Rennes	David PICHARDIE
INSA Rennes	Gildas AVOINE
Orange Consulting	Alain MARCAY, David BOUCHER, Stéphanie MBAPPE

Version et Date	Modifications
V 1.0 – 24/12/2014	Création du document
V 1.1 – 04/02/2015	Modifications suite aux remarques de l'ANSSI
V 1.2 – 13/02/2015	Modifications suite aux remarques de l'ANSSI
V 1.3 – 05/06/2015	version finle

Plan du module

1. La sécurité du protocole IP
2. Sécurisation d’un réseau
3. Les bases de la cryptographie
4. La sécurité des applications web

1. La sécurité du protocole IP

a) Préambule
b) Exemple d'attaque par réflexion
c) Exemples d'écoute de trafic
d) Exemple de modification du routage des datagrammes IP
e) Sécurisation du protocole IP

1. La sécurité du protocole IP

a. Préambule

Lorsqu'ils ont été conçus, le protocole IP et les protocoles associés (TCP, UDP, ICMP, routage…) n'ont pas pris en compte la sécurité

- « Concept sécurité » inconnu à l'époque, personne n'imaginait que ces protocoles pourraient être détournés à des fins malveillantes ;
- **Aucun mécanisme de sécurité n'est donc implémenté au sein de ces protocoles.**

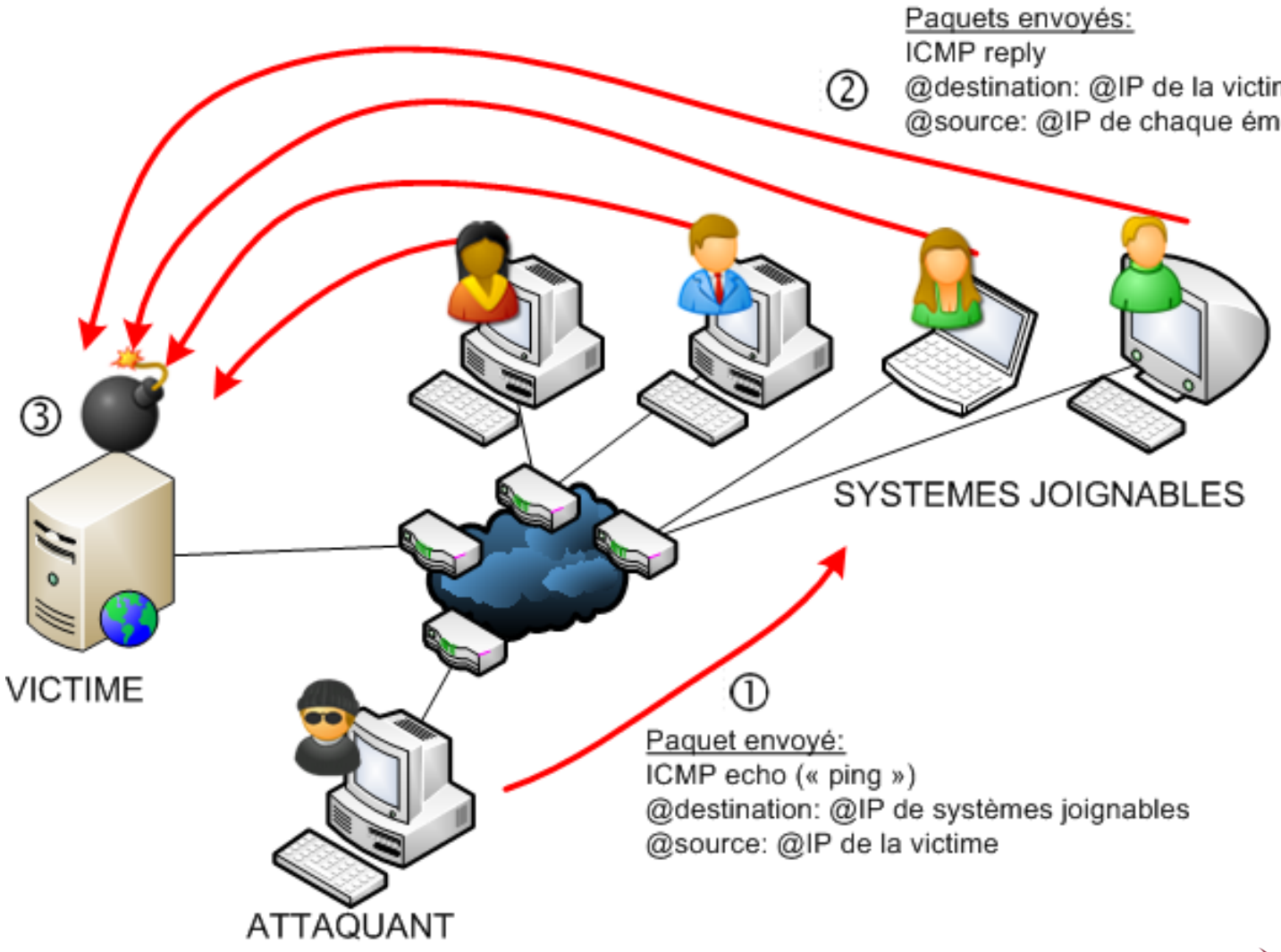
Quelques exemples de faiblesses de ces protocoles

- **Absence d'authentification des émetteurs et récepteurs** d'un datagramme : usurpation d'adresse IP possible ;
- **Absence de chiffrement des données**, celles-ci sont donc transmises en clair. Un hacker positionné sur un réseau peut donc écouter les connexions et accéder aux données ;
- **Le routage des datagrammes peut être modifié** de façon à rediriger les datagrammes vers un autre destinataire ;
- Note : l'exploitation de ces faiblesses nécessite des prérequis techniques, i.e. elles ne sont pas systématiquement applicables à tous les réseaux.

Les diapositives suivantes illustrent ces faiblesses.

1. La sécurité du protocole IP

b. Exemple d'attaque par réflexion



1. La sécurité du protocole IP

b. Exemple d'attaque par réflexion

But de l'attaque

- porter atteinte aux performances d'un système cible (déni de service).

Quelles sont les caractéristiques de l'attaque ?

- usurpation d'adresse IP ;
- réflexion de trafic en ayant recours à des systèmes tiers « innocents ».

Séquences de l'attaque

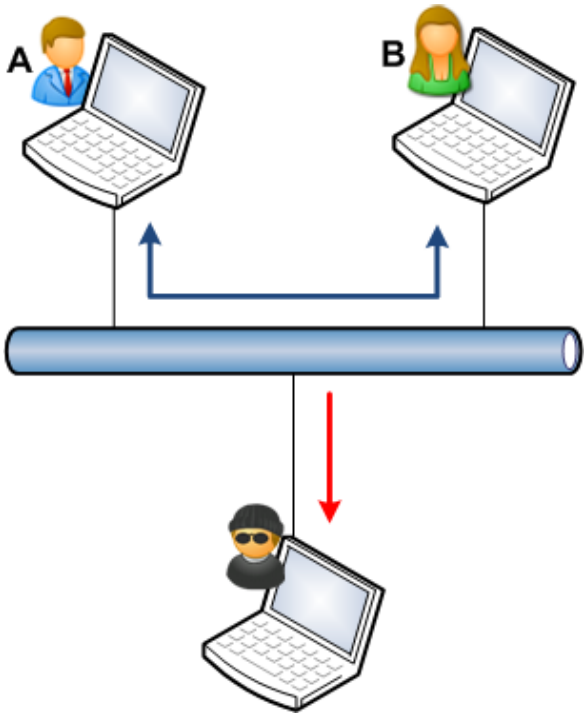
Un attaquant envoie des paquets PING à des systèmes tiers joignables en indiquant l'@IP de la future victime comme @IP source ;

Chaque système pense ainsi recevoir un PING de la part d'un système distant, et chacun va répondre à ce PING ;

Avec suffisamment de ressources, l'attaquant sera en mesure de faire générer suffisamment de trafic pour affecter les performances de la victime.

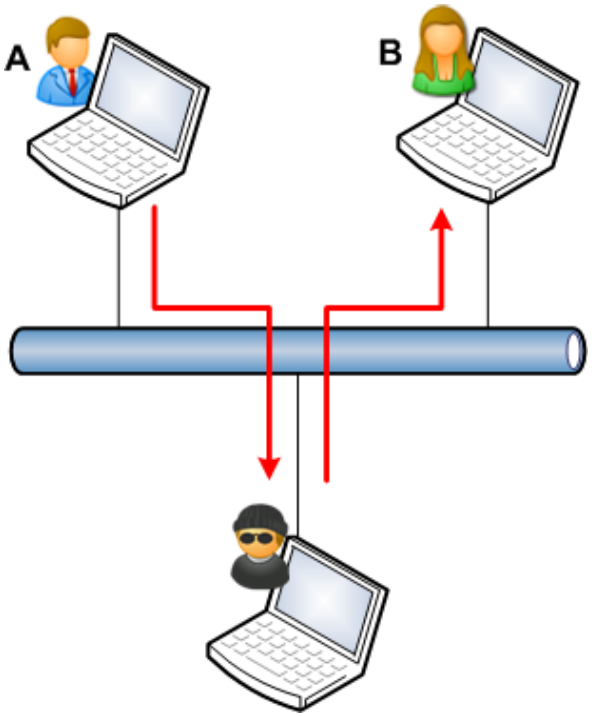
1. La sécurité du protocole IP

c. Exemples d'écoute de trafic



Ecoute passive

L'attaquant est en mesure d'écouter les conversations entre A et B (atteinte à la ***confidentialité*** des échanges).

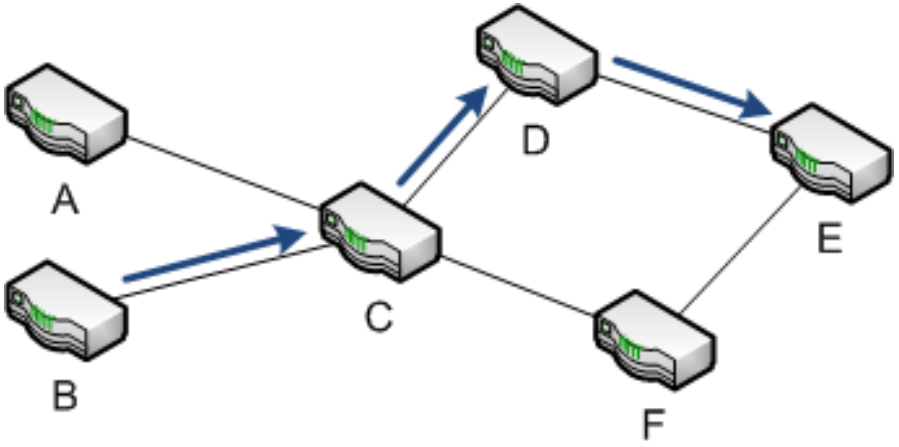


Ecoute active

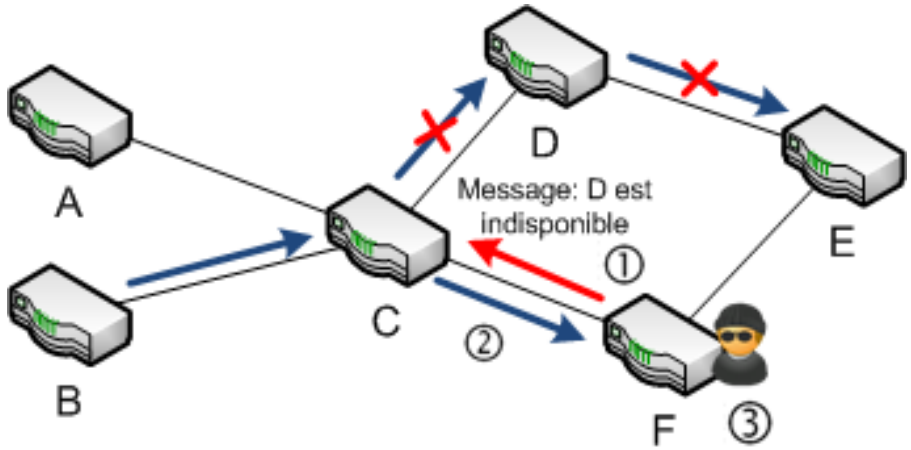
L'attaquant est en mesure de s'insérer dans la conversation entre A et B sans que ceux-ci le sachent (atteinte à la ***confidentialité*** et à l'***intégrité*** des échanges).

1. La sécurité du protocole IP

d. Exemple de modification du routage des datagrammes IP



Chaque routeur possède une table de routage qui indique vers quel routeur voisin transmettre les datagrammes. Cette table peut être mise à jour dynamiquement en fonction des évènements réseaux (protocoles BGP, RIP, OSPF, etc.).



But de l'attaque : **dérouter les paquets** à destination du réseau E, vers le réseau F maitrisé par l'attaquant.

Méthode :

- L'attaquant utilise une faiblesse du protocole de routage pour indiquer au routeur C que le routeur D est indisponible, et que le routeur F peut router les paquets vers E ;
- le routeur C transfère donc à F les paquets pour E, afin qu'ils puissent être routés à destination ;
- Selon le but visé par l'attaquant, celui-ci peut décider de router ou non les paquets vers E.

1. La sécurité du protocole IP

e. Sécurisation du protocole IP

Ainsi, il est nécessaire de **mettre en œuvre des mécanismes de sécurité complémentaires** afin de réduire et maitriser les risques émanant des protocoles historiques régissant les réseaux.

Exemple de mécanismes :

- Chiffrement des communications ;
- Authentification des entités ;
- Cloisonnement réseau ;
- Filtrage ;
- Dimensionnement adapté des infrastructures ;
- Règles de renforcement des configurations des équipements ;
- Supervision des équipements ;
- etc.

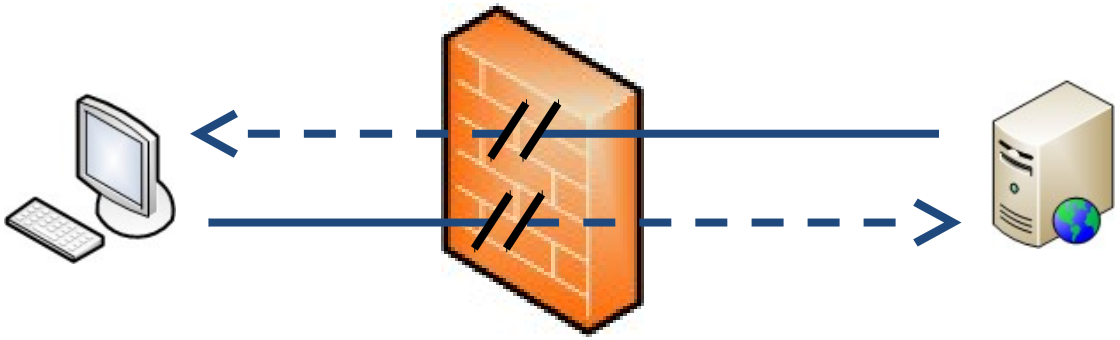
2. Sécurisation d’un réseau

a) Pare-feu
b) Répartiteur de charge
c) Anti-virus
d) IDS et IPS
e) VPN
f) Segmentation
g) Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

2. Sécurisation d'un réseau

a. Pare-feu

- **Équipement en coupure entre 2 ou plusieurs réseaux ;**
- Inspecte les paquets réseaux entrants et sortants d'un réseau à l'autre ;
- Implémente un **mécanisme de filtrage basé sur des règles :** il ne transmet donc que les paquets réseaux qui respectent les règles de filtrage implémentées dans la configuration du pare-feu.



Pour chaque flux entrant ou sortant, le pare-feu interroge ses règles de filtrage pour déterminer s'il doit laisser le paquet réseau ou non.

2. Sécurisation d'un réseau

a. Pare-feu

Règles de filtrage :

- Historiquement, elles étaient basées sur les couches basses de la pile protocolaire (réseau, transport), et portaient uniquement sur les paramètres comme les adresses IP et les ports TCP/UDP ;
- Les pare-feu sont également capables de filtrer selon les données de la **couche applicative** (protocole et contenu des données). Ex. : HTTP, SMTP, DNS, etc.
  - Les **proxy et reverse-proxy peuvent être vus comme des pare-feu applicatifs dédiés**. Ils permettent **d'analyser finement** les flux applicatifs (par exemple la navigation web des utilisateurs ou les flux web entrants sur un server de e-commerce).
- Un anti-virus ou un mécanisme de détection d'intrusion peuvent également être implémentés sur le pare-feu de façon à détecter un malware en transit ou certaines attaques.

Avantage sécurité :

- L'exploitant d'un réseau peut donc restreindre le trafic entrant et sortant aux seules connexions qu'il estime légitime. Toutes les autres connexions sont donc bloquées.

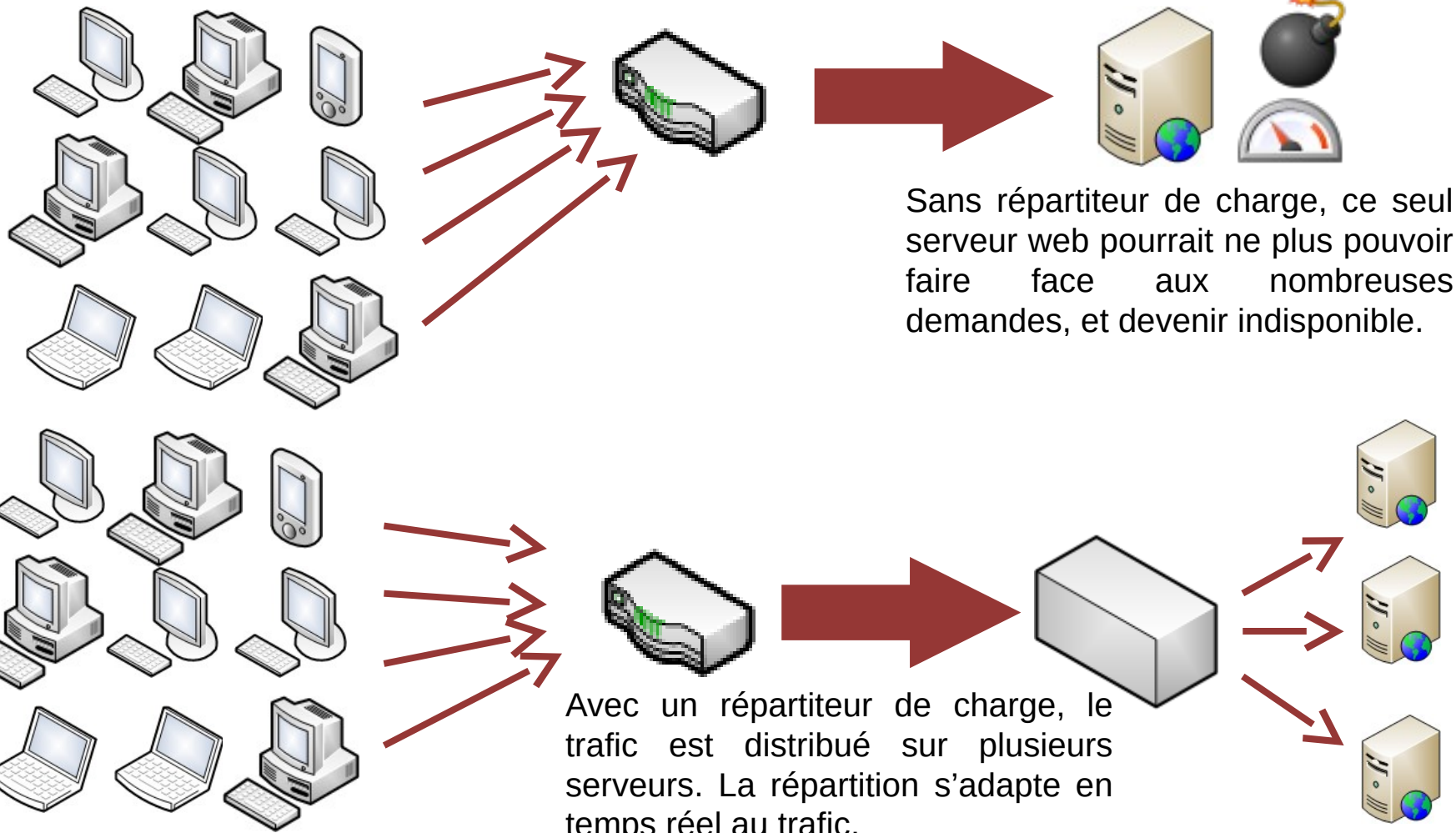
2. Sécurisation d'un réseau

b. Répartiteur de charge

- « Load-balancer » en anglais ;
- Équipement rencontré sur les grosses infrastructures où les serveurs doivent faire face à de très fortes bandes passantes et charges élevées de trafic ;
- Équipement chargé de **répartir/distribuer la charge réseau** en fonction des caractéristiques de celui-ci et de la disponibilité des serveurs ;
- Avantage sécurité : permet de mieux se protéger contre les **dénis de service distribués.**

2. Sécurisation d'un réseau

b. Répartiteur de charge



Sans répartiteur de charge, ce seul serveur web pourrait ne plus pouvoir faire face aux nombreuses demandes, et devenir indisponible.

Avec un répartiteur de charge, le trafic est distribué sur plusieurs serveurs. La répartition s'adapte en temps réel au trafic.

2. Sécurisation d'un réseau

c. Anti-virus

Logiciel chargé de détecter et stopper les **malware connus :**

- Virus, vers, *keylogger* (enregistreur de frappe), chevaux de Troie, etc.

- Ces logiciels fonctionnent en général avec une base de données qui contient les signatures des malware connus. Ils analysent en permanence les fichiers et les exécutables du système hébergeant l'anti-virus ;

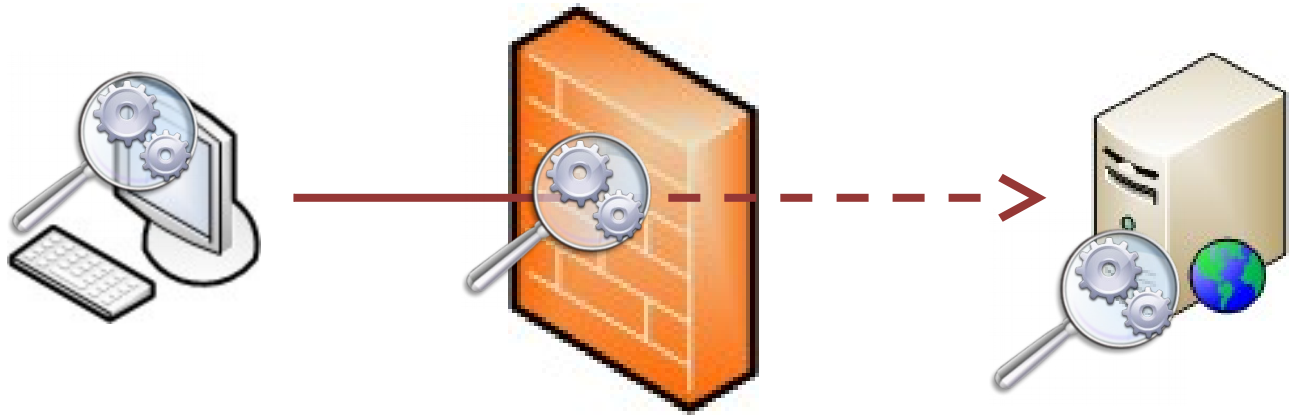
- **Limite des anti-virus :** ils ne détectent (en général) que les malware déjà répertoriés par les éditeurs. Ainsi, les nouveaux virus ou les malware ciblés ne sont souvent pas détectés. D'autre part, il est impératif que l'anti-virus soit mis à jour quotidiennement.

2. Sécurisation d'un réseau

c. Anti-virus

Un anti-virus peut être déployé :

- En **local :** sur un système (poste de travail ou serveur) afin de détecter les virus affectant cette machine ;
- En **coupure des flux réseaux :** sur un pare-feu afin d'analyser les flux réseau et détecter les malware avant même qu'ils n'atteignent leur cible. Ce fonctionnement peut être assimilé à un IDS (Intrusion Detection System), mécanisme présenté dans la section suivante.



2. Sécurisation d'un réseau

d. IDS et IPS

IDS **I**ntrusion **D**etection **S**ystem

IPS **I**ntrusion **P**revention **S**ystem

Chargés d'analyser le trafic réseau pour y **détecter des tentatives d'intrusion** :

- soit en analysant le comportement des flux réseaux ;
- soit en se basant sur une base de signatures identifiant des données malveillantes (principe similaire à celui des anti-virus).

En cas de détection d'une intrusion :

- Les **IDS alertent** les administrateurs, libre à eux d'intervenir ou non ;
- Les **IPS bloquent** les flux réseau concernés.

Les IDS/IPS demandent un configuration fine et maintenue :

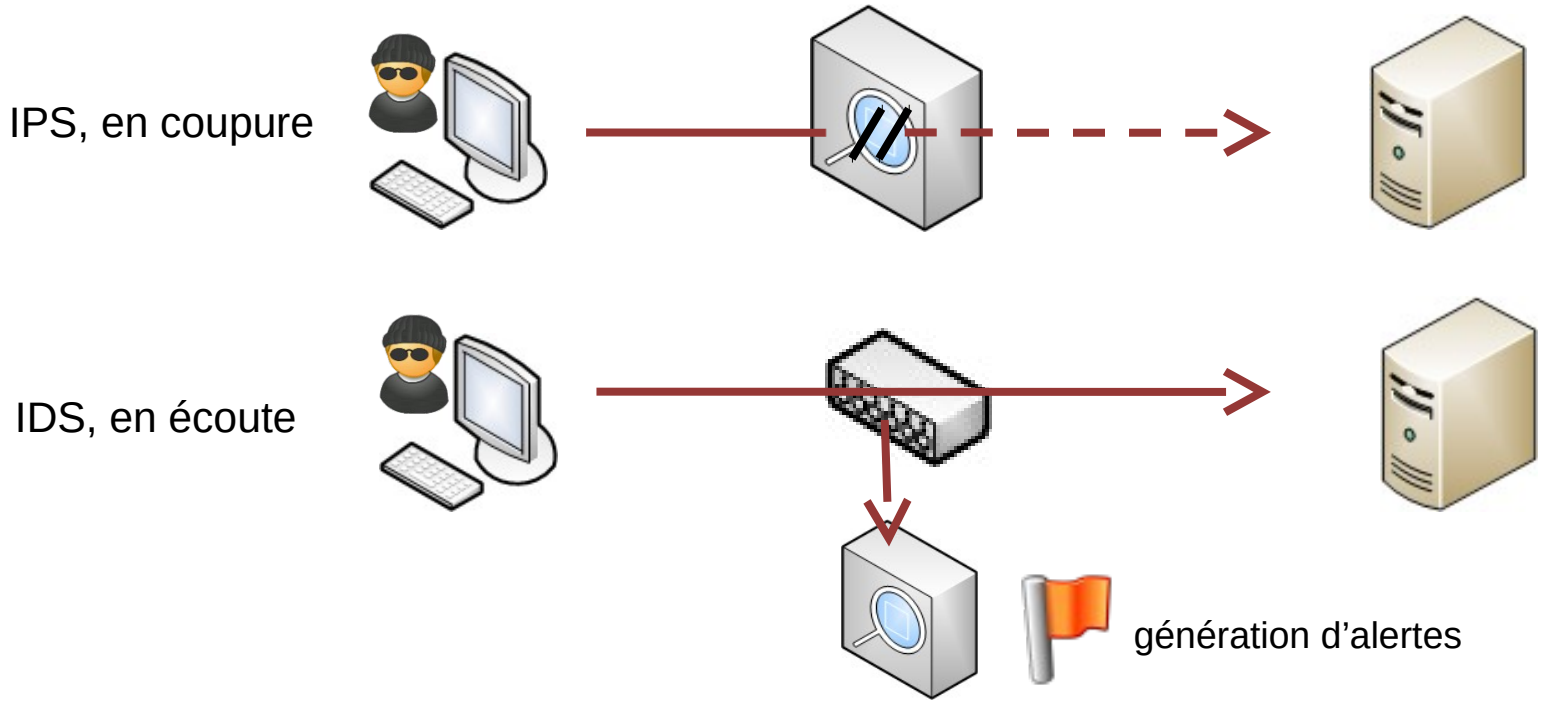
- Ils sont en effet connus pour présenter de nombreux faux-positifs (i.e. ils détectent à tort une tentative d'intrusion) ;
- De plus, les IDS/IPS basés sur des signatures ne peuvent détecter que les intrusions dont les caractéristiques techniques sont déjà connues et référencées.

2. Sécurisation d'un réseau

d. IDS et IPS

Un IDS peut être soit en coupure du flux réseaux, soit **positionné en écoute.**

Un IPS **doit forcément** être en **coupure du flux** de façon à pourvoir bloquer le trafic lorsque cela est nécessaire.



2. Sécurisation d'un réseau

e. VPN

VPN **V**irtual **P**rivate **N**etwork

Un VPN est un **réseau virtuel** qui permet à **deux réseaux distants de communiquer en toute sécurité**, y compris si la communication s'effectue via des réseaux inconnus et auxquels nous ne faisons pas confiance.

Exemple avec une entreprise qui possède deux sites distants et qui ont besoin de communiquer entre eux via internet : comment faire passer les flux en toute sécurité via Internet que l'on ne maitrise pas ?

2. Sécurisation d'un réseau

e. VPN

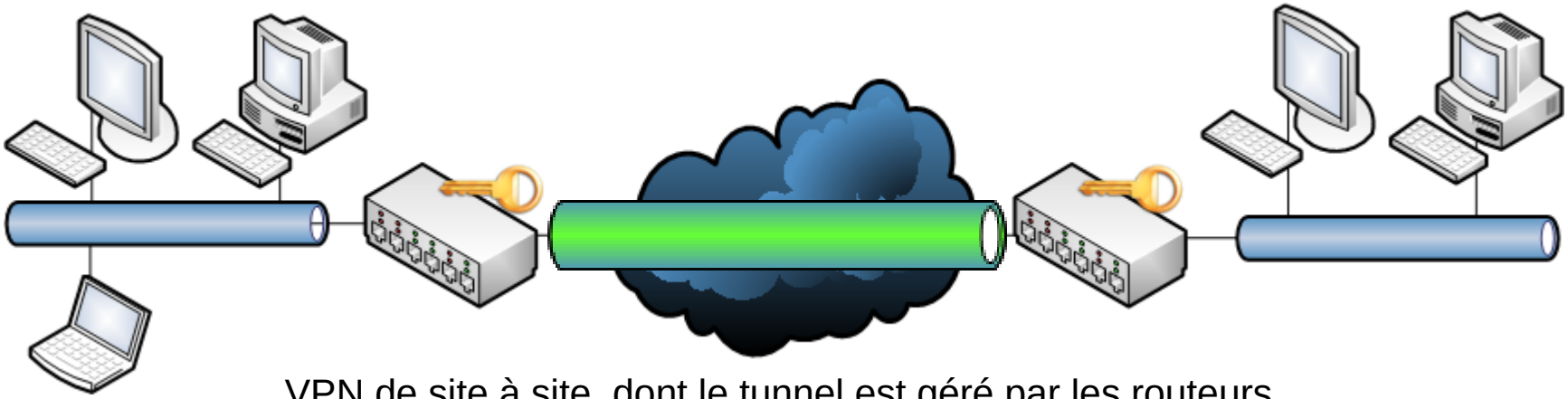
Solution : grâce à des mécanismes cryptographiques, appliquer un **chiffrement des données, ainsi qu'un motif d'intégrité, à tous les flux entre les 2 sites**. On obtient ainsi un **tunnel virtuel** qui ne contient que des données chiffrées et protégées en intégrité :

- Les données qui passent sur Internet sont donc chiffrées et non compréhensibles par un attaquant qui écouterait les flux ;
- En cas de modification malveillante des flux, le mécanisme d'intégrité permettra au destinataire de déterminer que les données reçues ne sont pas intègres, et qu'il ne faut donc pas traiter ces données.

Il existe différents types de VPN, représentés sur les diapositives suivantes.

2. Sécurisation d'un réseau

e. VPN



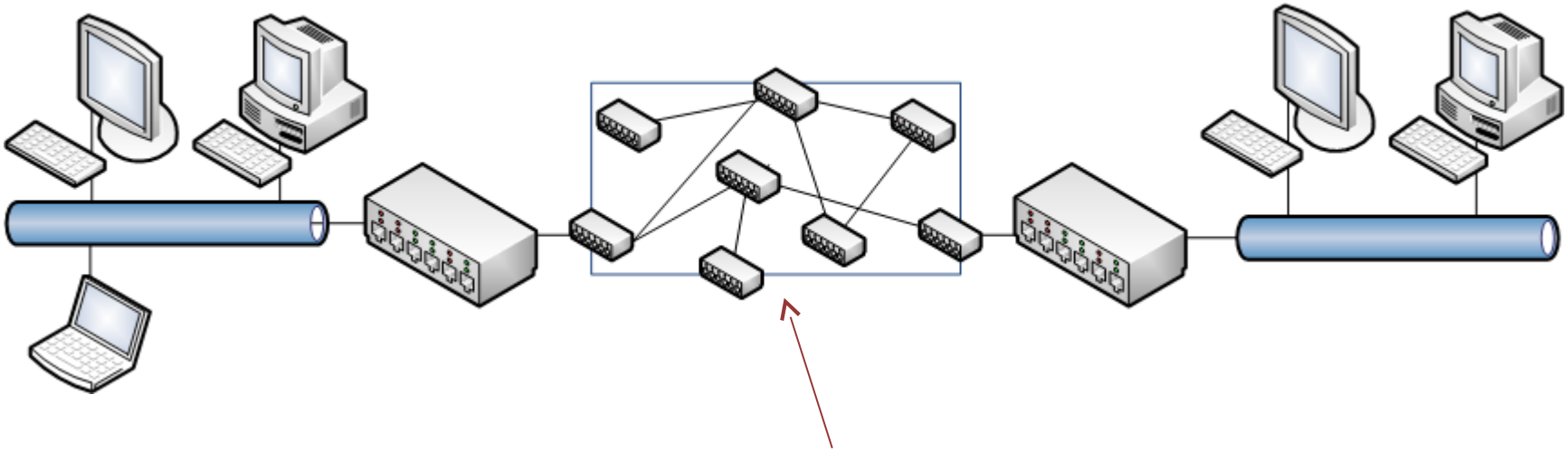
VPN de site à site, dont le tunnel est géré par les routeurs
IPsec – au niveau de la couche Internet

VPN entre systèmes
TLS – au niveau de la couche Transport

2. Sécurisation d'un réseau

e. VPN

Il existe également des VPN qui n'ont pas recours à de la cryptographie, mais qui font appel aux infrastructures d'opérateurs. Dans ce cas, la protection du réseau est assurée par l'opérateur.



Réseau opérateur **MPLS**, dont le cœur est inaccessible aux clients se connectant sur ce réseau

2. Sécurisation d’un réseau

f. Segmentation

Un principe majeur de la Sécurité est celui du **moindre privilège :**

On ne doit donner les droits d’accès à une ressource qu’aux seules personnes/entités ayant un besoin légitime d’y accéder.

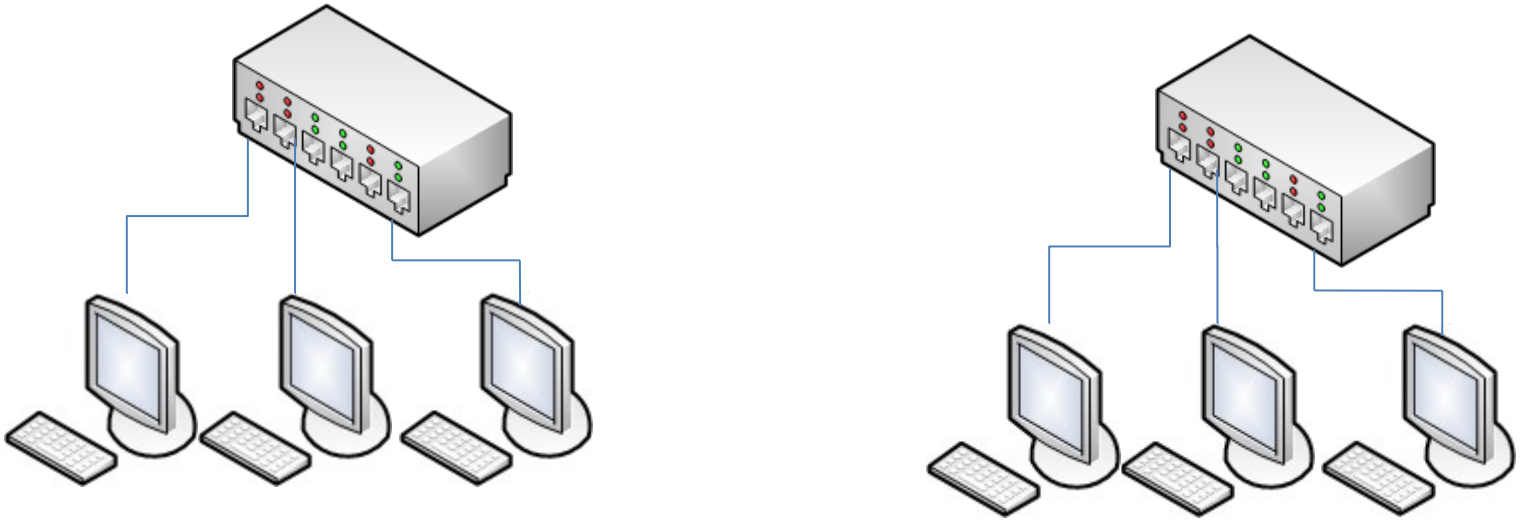
Appliqué au domaine réseau, il est donc fait **recours à de la segmentation** afin de séparer le réseau en différentes zones.

Les droits d’accès à ces zones doivent ensuite être **filtrés** afin de n’autoriser que les flux nécessaires entre chaque zone.

2. Sécurisation d'un réseau

f. Segmentation

Il existe plusieurs techniques pour procéder à de la segmentation. La technique la plus évidente : implémenter deux réseaux distincts non connectés.



Implémentation de deux réseaux physiques différents, non connectés.

Avantage : **étanchéité réseau parfaite** (aucune communication possible entre ces deux zones).
Inconvénient : adapté à certains réseaux très sensibles seulement, **peu adapté aux réseaux d'entreprise** qui ont besoin de communiquer.

2. Sécurisation d'un réseau

f. Segmentation

Autre technique de segmentation : **VLAN** (Virtual LAN).

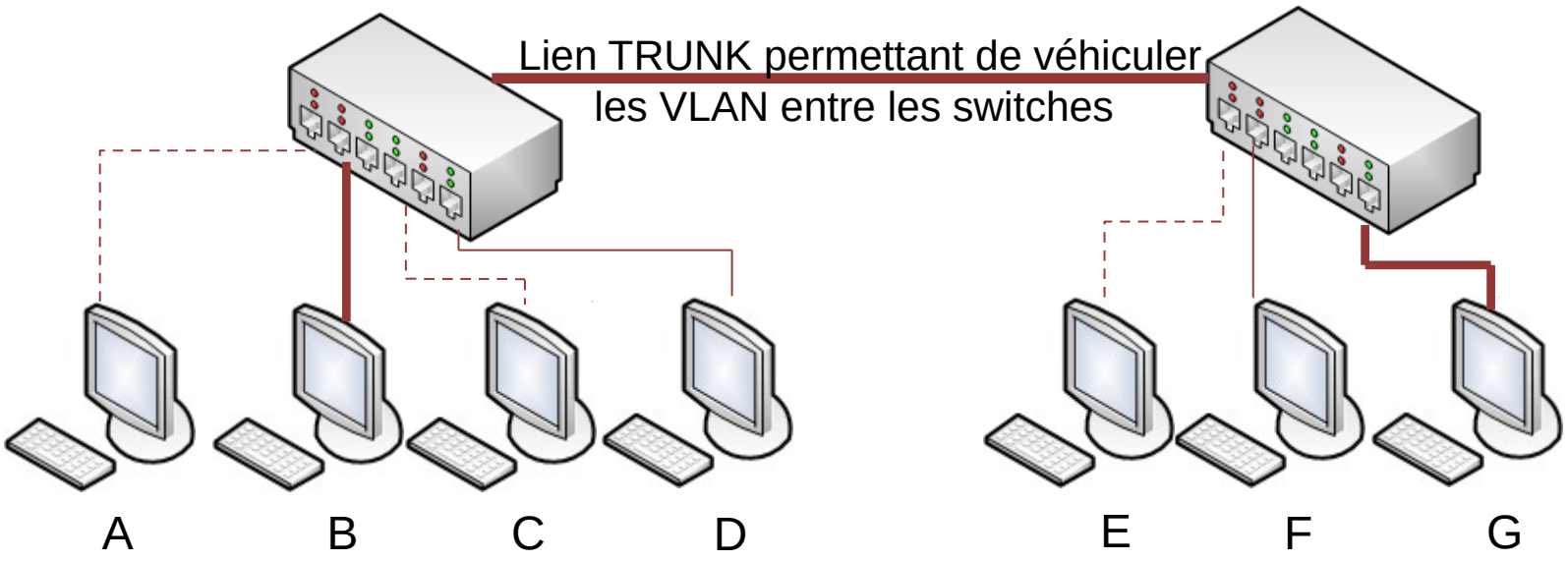
Les VLAN sont des **réseaux virtuels implémentés par les switches**. Ceux-ci **restreignent la communication entre systèmes selon des règles configurées** sur l'équipement réseau :

- La segmentation peut se faire grâce aux ports Ethernet de chaque switch (on affecte un VLAN particulier à chaque port des switches, les deux switches étant reliés entre eux par un lien TRUNK afin de véhiculer les étiquettes des VLAN) ;
- La segmentation aussi se faire grâce aux adresses MAC des systèmes.
  - Attention : les adresses MAC des cartes réseaux pouvant facilement être modifiées par les utilisateurs, le filtrage sur les adresses MAC est à considérer – logiquement – avec précaution car le niveau de sécurité effectif est limité.

Voir exemple sur la diapositive suivante.

2. Sécurisation d'un réseau

f. Segmentation



Implémentation de 3 VLAN sur des réseaux distants.

VLAN 1. Les machines B et G sont segmentées des autres systèmes et peuvent communiquer entre-elles deux seulement.

VLAN 2. Les machines A, C et E sont segmentées des autres systèmes et peuvent communiquer entre-elles seulement.

VLAN 3. Les machines D et F sont segmentées des autres systèmes et peuvent communiquer entre-elles deux seulement.

2. Sécurisation d'un réseau

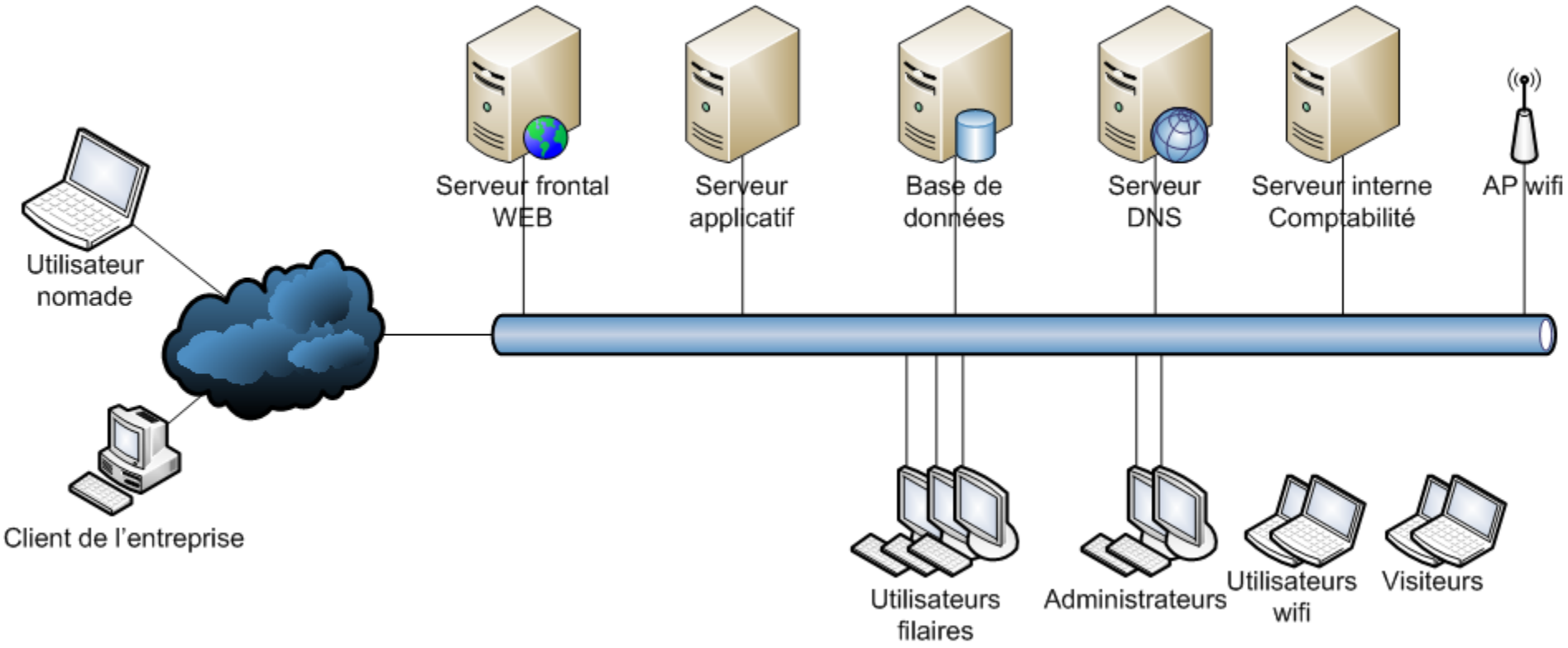
g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Prenons l'exemple d'un réseau d'entreprise « à plat ». Caractéristiques de cette entreprise :

- Elle fournit un **site WEB de e-commerce** ;
- Certains employés se connectent sur le **réseau local filaire**, d'autres se connectent en **wifi** ;
- Certains employés sont **nomades** et doivent donc se **connecter à distance** ;
- Il existe deux catégories principales d'utilisateurs : les **utilisateurs « standard »** et les **administrateurs** du S.I. ;
- Afin de fonctionner, l'entreprise possède également des **serveurs internes** (comptabilité, wiki, etc.) ;
- L'entreprise souhaite permettre à ses **visiteurs** de se connecter en **wifi** afin de naviguer sur internet.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple



Réseau « à plat », avant sécurisation

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Voyons comment nous allons pouvoir sécuriser ce réseau.

- Note : il existe plusieurs façons d'améliorer la sécurité de ce réseau, nous en présentons ici uniquement les grandes lignes. Cet exercice n'est ni exhaustif ni la seule solution possible.

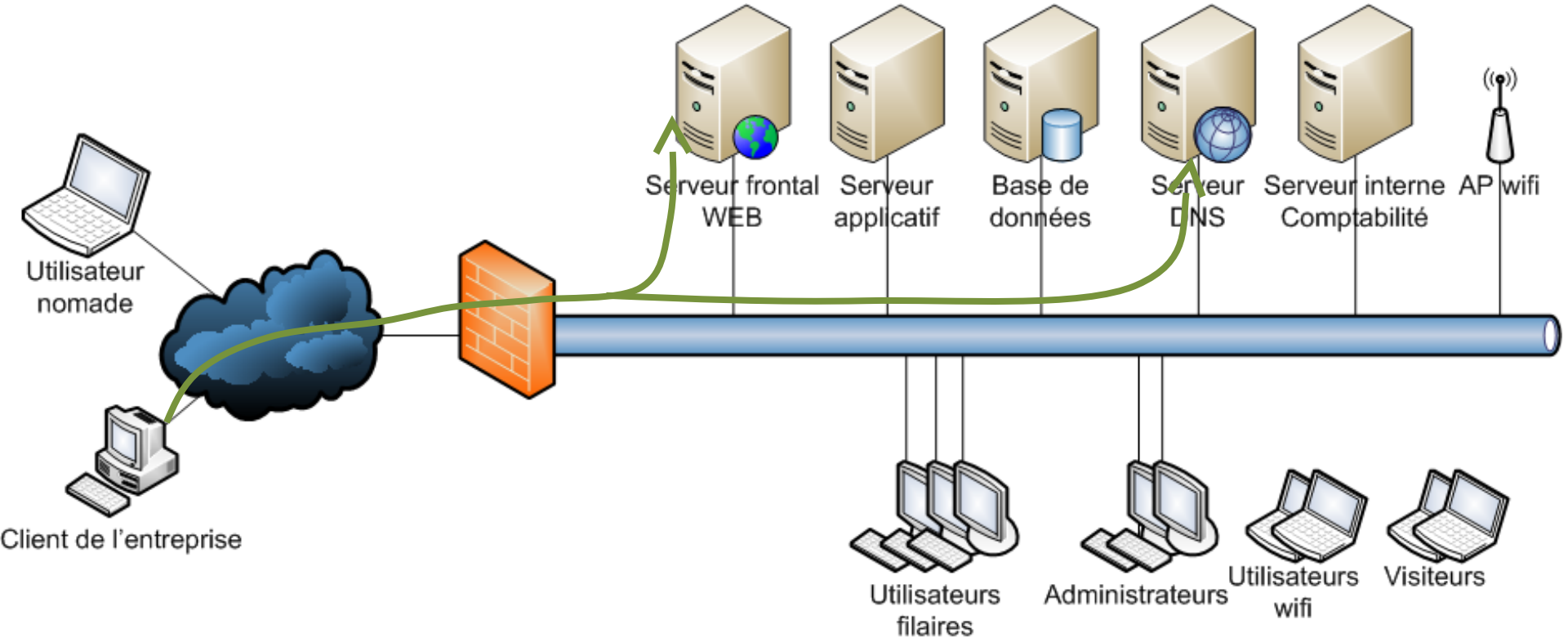
Parmi les nombreuses faiblesses architecturales de ce réseau, nous pouvons identifier au moins le problème suivant :

- Le réseau est **directement connecté à Internet**, i.e. tous les systèmes et utilisateurs et systèmes peuvent communiquer avec l'extérieur (attention aux **fuites de données !**) et **tout Internet peut se connecter sur notre réseau interne.**

Corrigeons cela en implémentant un **pare-feu** en frontal qui va autoriser uniquement les flux entrants vers le serveur WEB (TCP/80 et TCP/443) et le serveur DNS (UDP/53 et TCP/53). Ainsi, Internet ne pourra plus accéder au reste du réseau interne.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple



Réseau « à plat », avec un pare-feu en frontal

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Le pare-feu empêche – certes – la connexion directe entre internet et le réseau interne, mais :

- Au cas où le serveur WEB présente une **vulnérabilité**, un hacker présent sur Internet peut potentiellement **prendre la main sur ce serveur**, puis **rebondir ensuite sur le réseau interne.**

Nous allons donc **segmenter** notre réseau en **différentes zones de criticité**, notamment :

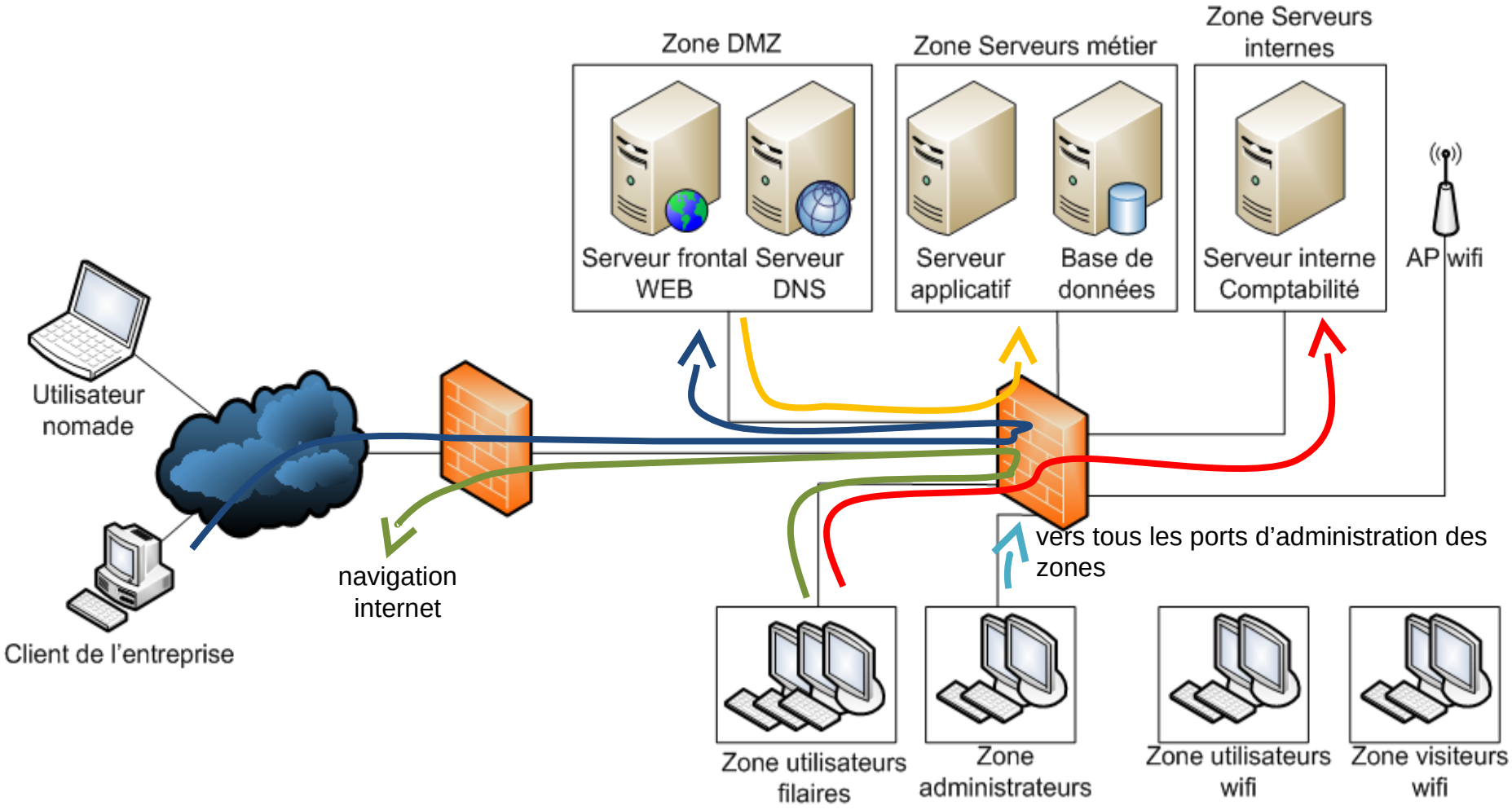
- Une **DMZ (zone démilitarisée)** destinée à héberger tous les serveurs qui doivent être accessibles depuis internet, et uniquement ceux-ci. Ainsi, en cas de faille dans le serveur web, un attaquant aurait plus de difficultés pour rebondir sur le réseau interne ;
- Une zone destinée aux **serveurs internes** de l'entreprise ;
- Une zone pour les **postes de travail filaires des utilisateurs ;**
- Une zone pour les **postes de travail wifi des utilisateurs ;**
- Une zone pour les **postes wifi des visiteurs ;**
- Une zone pour les **postes de travail des administrateurs**, car ceux-ci ont besoin d'accéder à des interfaces d'administration (RDP, SSH…).

Afin que cette segmentation réseau soit efficace, nous faisons **passer tous les flux** (y compris internes) **par un deuxième pare-feu (interne)** afin que seuls les flux que nous allons configurer soient autorisés.

- Note : on observe malheureusement souvent des réseaux segmentés mais non filtrés. Cela ne sert à rien en terme de sécurité, car toutes les zones peuvent communiquer entre-elles.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

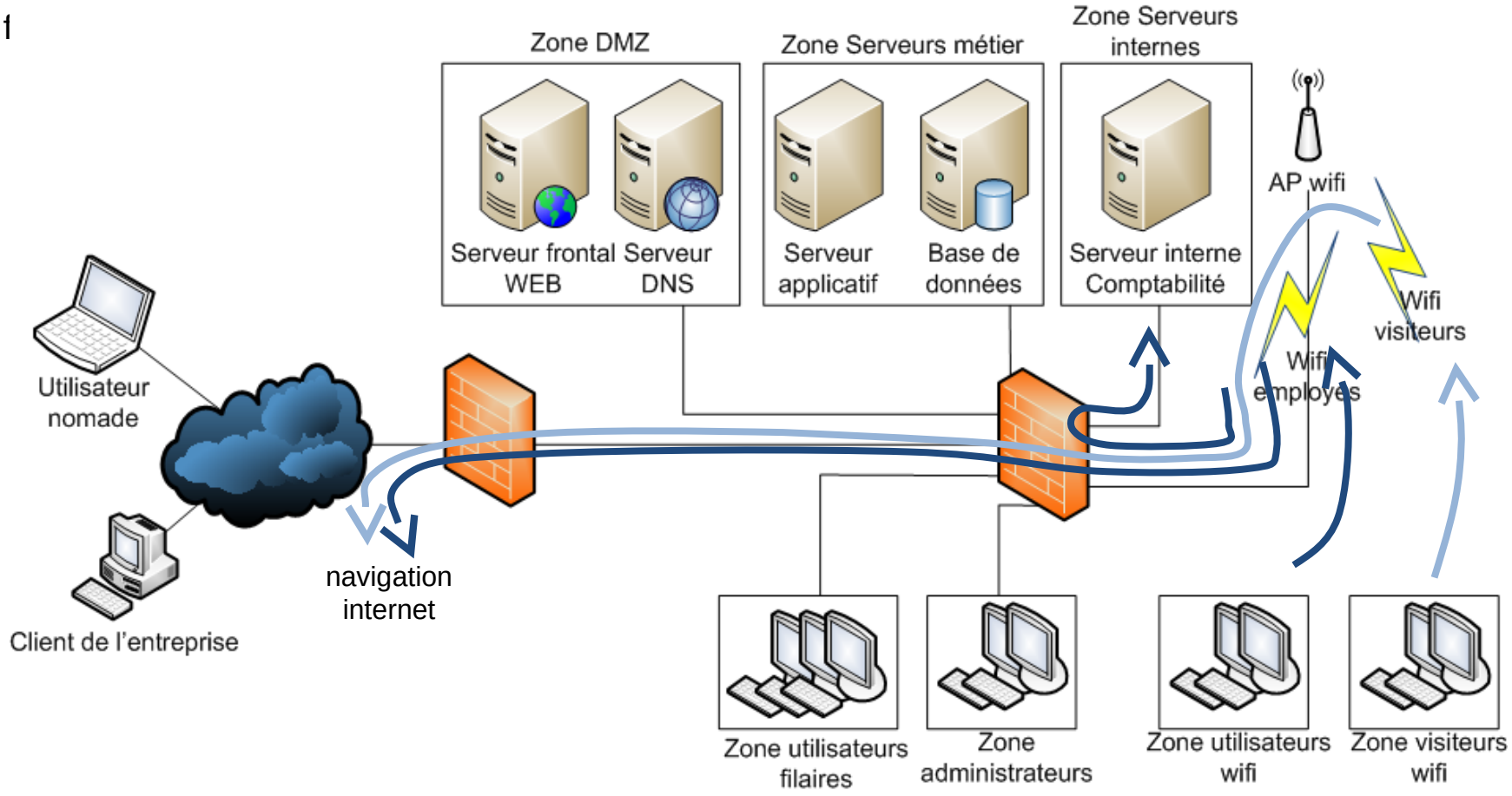


Réseau avec des zones segmentées, et un filtrage systématique via le pare-feu, y compris pour les flux internes.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Le point d'accès wifi doit être accessible aux visiteurs et aux employés internes. Puisque le besoin d'accès aux ressources est différent pour ces 2 populations, nous allons donc implémenter deux SSID (**deux réseaux wifi distincts**, portés par le même point d'accès, et dont le pare-feu filtrera les f



Deux réseaux wifi, dont les flux sont filtrés différemment.

2. Sécurisation d'un réseau

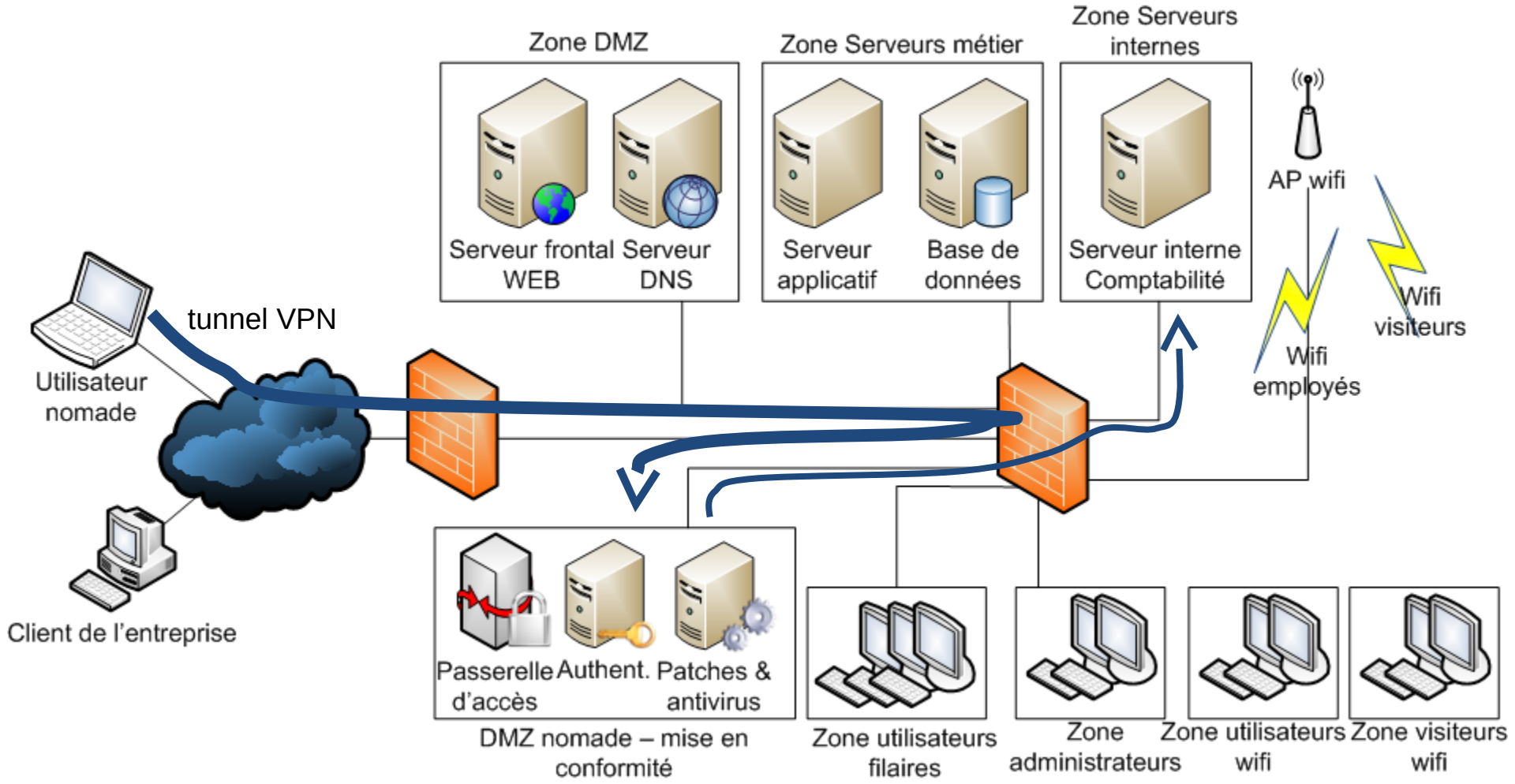
g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Nous devons également permettre aux **utilisateurs nomades de se connecter** au réseau interne depuis internet. Cela se fait via une DMZ spécifique, appelée zone de mise en conformité, dont le rôle est le suivant :

- Fournir l'interface d'accès au réseau interne depuis internet, en général via un **tunnel VPN** ;
- **Vérifier que le poste nomade et son utilisateur sont habilités** pour se connecter à distance ;
- **Vérifier le niveau de sécurité du poste** avant d'autoriser la connexion (**patches et anti-virus à jour** notamment) ;
- Si tout est OK, alors **autoriser les flux vers les zones internes** (et seulement celles qui sont nécessaires pour le métier), toujours en passant par le **pare-feu**.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple



Réseau avec DMZ de mise en conformité pour les postes nomades.

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple

Enfin, il serait souhaitable de **mieux filtrer le trafic WEB** entrant et sortant :

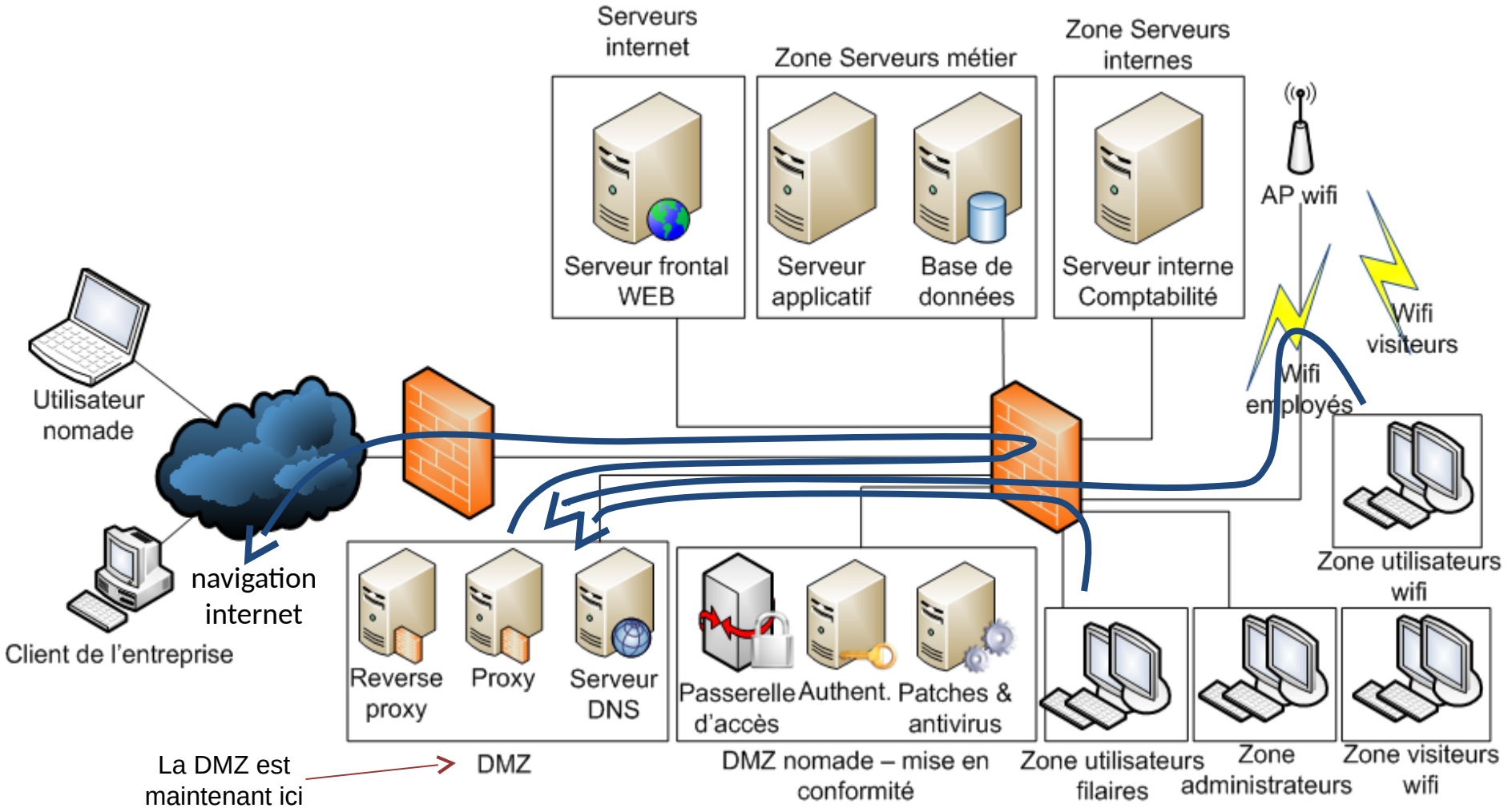
- **Trafic sortant** : définir les catégories de sites WEB que les employés sont autorisés à naviguer, implémenter une liste blanche ou noire de sites autorisés/interdits ;
- **Trafic entrant** : analyser les requêtes WEB d'internet vers le serveur de e-commerce afin d'intercepter les requêtes malveillantes (injection, malware, etc.).

Nous allons donc recourir à un **proxy pour analyser les flux sortants**, et **un reverse-proxy pour analyser les flux entrants**. Ces équipements étant en coupure, ils empêchent donc les postes de travail des utilisateurs d'être connectés directement à Internet tout en leur permettant de naviguer sur les sites autorisés. Même remarque pour le serveur WEB : celui-ci n'est plus connecté directement sur Internet, c'est le reverse-proxy qui est maintenant en frontal.

Puisque les proxies et reverse-proxies sont en frontal Internet, ce sont donc eux qu'il faut **placer dans la DMZ** maintenant.

2. Sécurisation d'un réseau

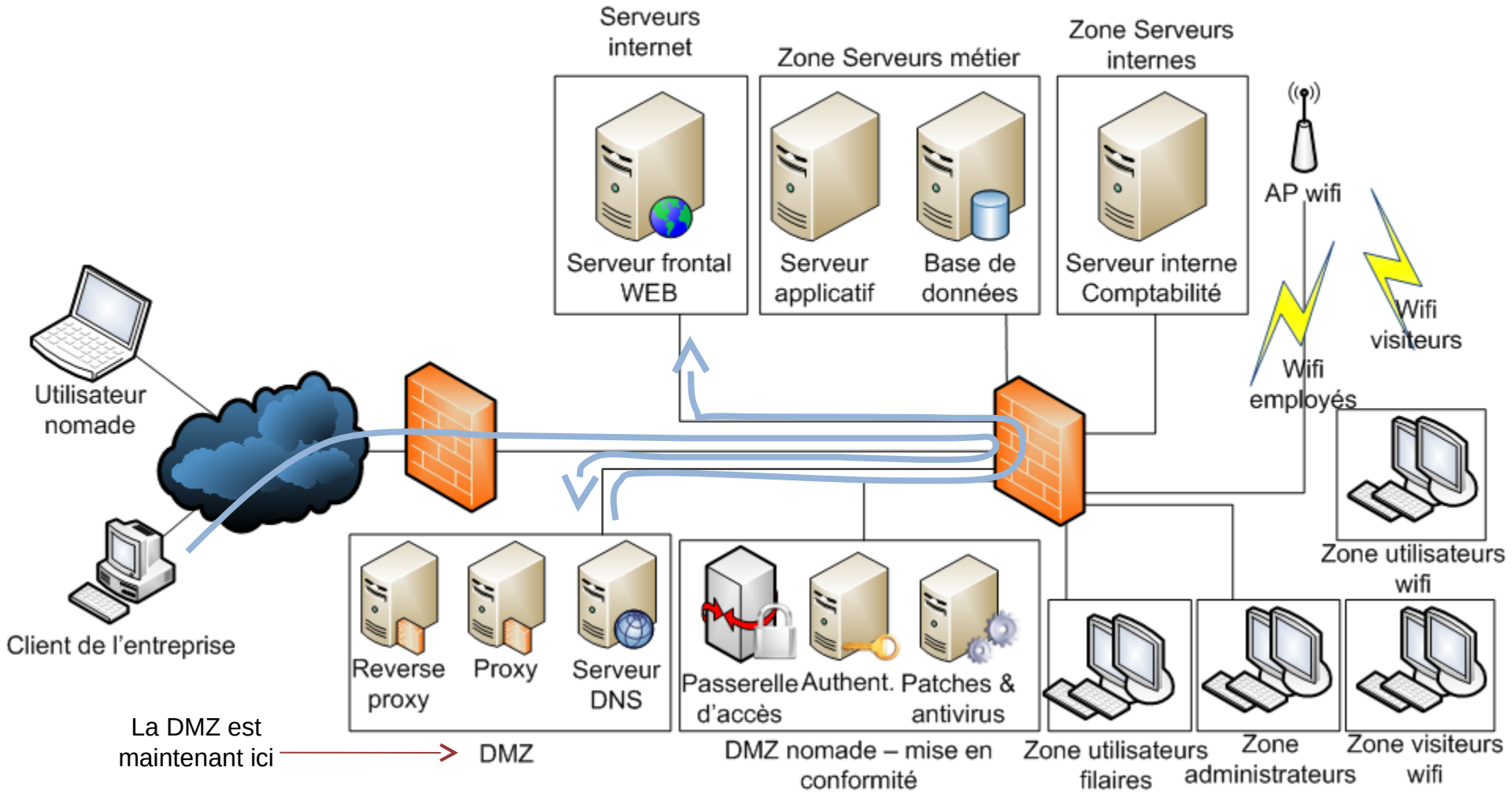
g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple



Réseau avec un proxy et un reverse-proxy en coupure des flux de/vers Internet

2. Sécurisation d'un réseau

g. Exemple pratique de sécurisation avec un réseau simple



Réseau avec un proxy et un reverse-proxy en coupure des flux de/vers Internet.

CyberEdu
La sécurité par l'enseignement supérieur des NTIC

3. Les bases de la cryptographie

a) Vocabulaire
b) Un peu d'histoire
c) Chiffrement symétrique
d) Chiffrement asymétrique
e) Chiffrement symétrique vs Chiffrement asymétrique
f) Signature électronique
g) Certificats électroniques
h) Jetons cryptographiques

3. Les bases de la cryptographie

a. Vocabulaire

La cryptographie est une discipline consistant à manipuler des données de telle façon que les services suivants puissent être fournis :

Intégrité

Objectif : s'assurer que les données n'ont pas été modifiées sans autorisation.
Remarque : dans les faits, la cryptographie ne s'attache pas vraiment à empêcher une modification de données, mais plutôt à fournir un moyen sûr de détecter une modification malveillante.

Confidentialité

Objectif : ne permettre l'accès aux données qu'aux seules personnes autorisées.

Preuve (authentification et non-répudiation)

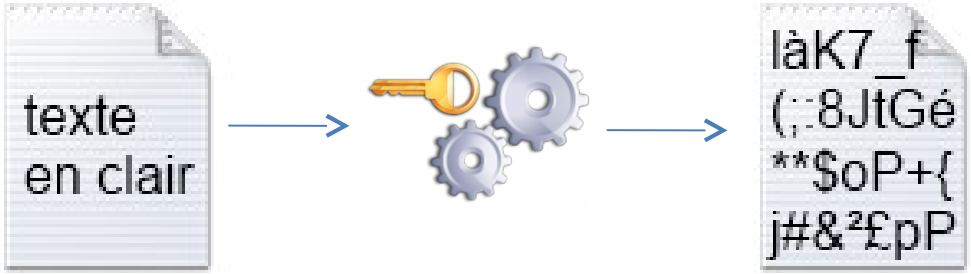
Objectif : fournir un moyen de preuve garantissant la véritable identité des entités ainsi que l'imputation de leurs actions.

3. Les bases de la cryptographie

a. Vocabulaire

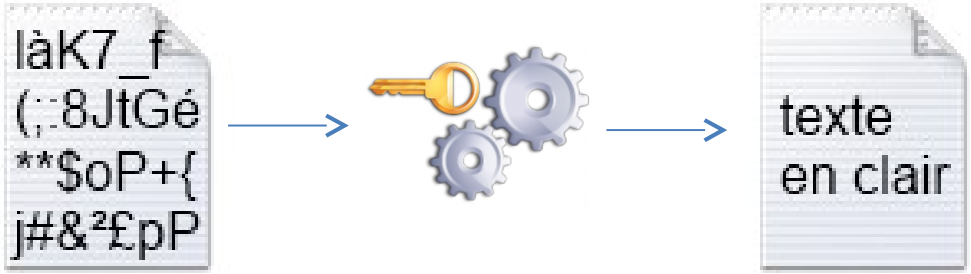
Chiffrer

Transformer une donnée de telle façon qu'elle devienne incompréhensible. Seules les entités autorisées pourront comprendre cette donnée chiffrée.



Déchiffrer

Transformer une donnée précédemment chiffrée pour reconstituer la donnée d'origine. Seules les entités autorisées ont la capacité de procéder à cette action.



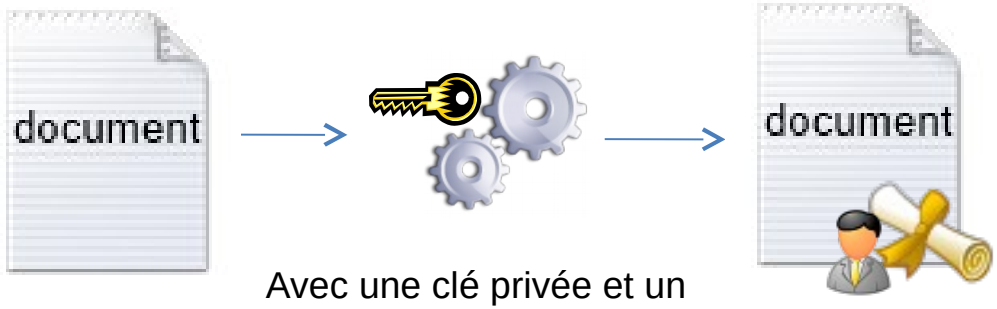
Recours à un algorithme et à une clé cryptographique.

3. Les bases de la cryptographie

a. Vocabulaire

Signer

Créer une signature électronique unique à la donnée et à son auteur. La signature lie donc la donnée d'origine et son auteur.



Avec une clé privée et un message en entrée, on obtient une signature en sortie

Vérifier la signature

S'assurer que la donnée d'origine n'a pas été modifiée et que son auteur est authentifié. Si la signature n'est pas valide, alors il ne faut pas faire confiance au document.

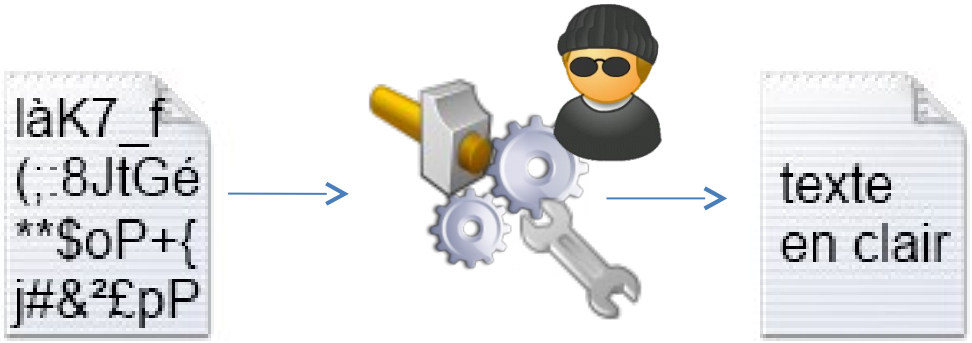
Avec la clé publique, la signature et le message en entrée,
on obtient un verdict OK/NOK en sortie

3. Les bases de la cryptographie

a. Vocabulaire

Décrypter

Reconstituer la donnée d'origine en tentant de « casser » la donnée chiffrée ou l'algorithme cryptographique.



Crypter

La notion de crypter n'existe pas. Il s'agit d'un abus de langage.

3. Les bases de la cryptographie

c. Chiffrement symétrique

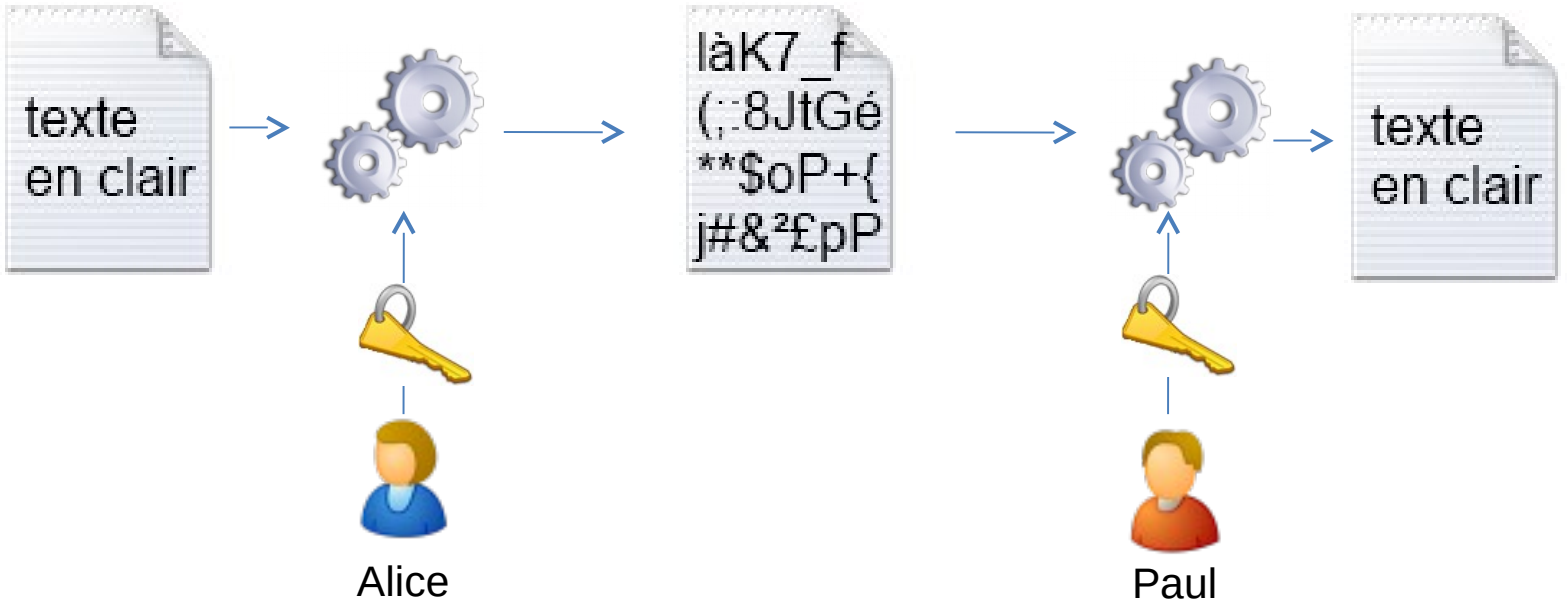
- La clé utilisée pour le chiffrement est la **même** que celle utilisée pour le déchiffrement ;

- Cette clé doit être **secrète :** seules les personnes habilitées doivent posséder cette clé, sinon la confidentialité du message n'est plus assurée !

3. Les bases de la cryptographie

c. Chiffrement symétrique

- Exemple : Alice souhaite envoyer un message confidentiel à Paul



Clé secrète partagée entre Alice et Paul

3. Les bases de la cryptographie

d. Chiffrement asymétrique

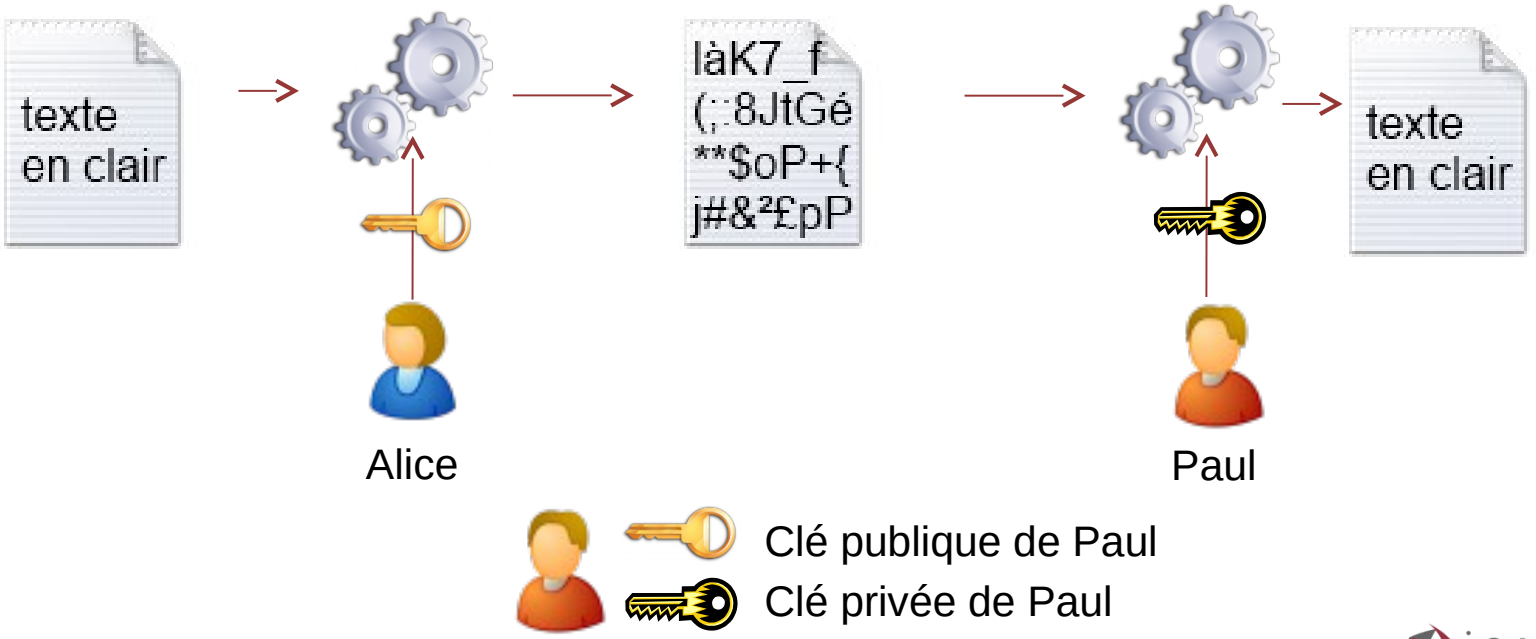
- La clé utilisée pour le chiffrement est **différente** de celle utilisée pour le déchiffrement. Il est nécessaire d'utiliser 2 clés :
  - Clé publique : comme son nom l'indique, cette clé est publique et peut être donnée à tout le monde ;
  - Clé privée : cette clé doit être personnelle et connue de son seul propriétaire. Elle ne doit jamais être divulguée !

- Ces deux clés sont mathématiquement liées
  - La connaissance de la clé publique ne permet pas de calculer de manière efficace la clé privée (attention à la taille de la clé, qui doit être suffisamment longue) ;
  - Chaque personne doit donc posséder 2 clés : une clé privée (confidentielle) et une clé publique qu'il peut divulguer à tout le monde.

3. Les bases de la cryptographie

d. Chiffrement asymétrique

- Exemple : Alice souhaite envoyer un message confidentiel à Paul
  - Alice chiffre le message avec la clé publique de Paul ;
  - Paul déchiffre le message grâce à sa privée ;
  - Notes :
    - Alice ne pourra jamais (et n'aura jamais besoin de) utiliser la clé privée de Paul puisque celle-ci est confidentielle à Paul !
    - Alice n'a pas besoin d'utiliser ses clés personnelles dans cet exemple de chiffrement sans signature.



3. Les bases de la cryptographie

e. Chiffrement symétrique vs Chiffrement asymétrique

Chiffrement symétrique	Chiffrement asymétrique
Avantages	
• Rapidité des opérations (adapté à du trafic en temps réel) ; • Clés courtes (256 bits suffisent actuellement) ;	• Facilité d'échange des clés : les seules clés qui ont besoin d'être échangées sont des clés publiques (dont il faut assurer la protection en intégrité) ;
Inconvénients	
• Difficulté d'échange sécurisé des clés secrètes : comment le faire en protégeant ce secret ?	• Lenteur des opérations (peu adapté à du trafic en temps réel) ; • Grande taille des clés (2048 bits minimum actuellement) ;
Exemples d'algorithmes sûrs (janvier 2015)	
• AES.	• RSA.

3. Les bases de la cryptographie

f. Signature électronique

Rappel de l'objectif : **s'assurer de la non-modification d'une donnée**, et **s'assurer de l'identité de son auteur**. Si la signature n'est pas valide, cela indique que l'auteur « n'est pas le bon » ou que le donnée reçue n'est pas celle que son auteur avait signé.

Notes :

- **La signature électronique n'assure pas la confidentialité des données**, mais leur intégrité et la notion de preuve ;
- **Lorsque l'on chiffre un message, il est fortement recommandé de le signer également** afin d'assurer l'intégrité du message.

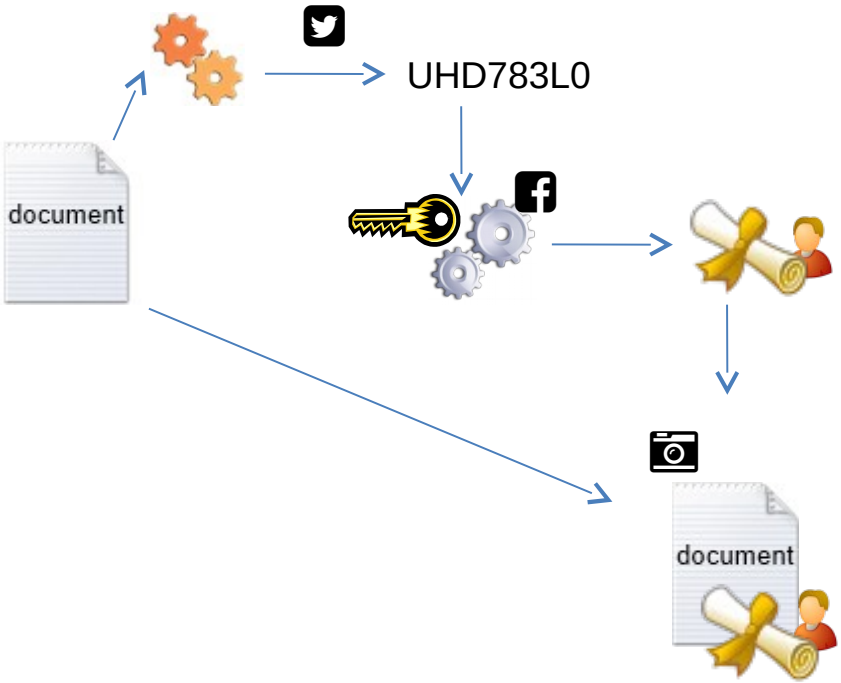
3. Les bases de la cryptographie

f. Signature électronique : principe

1. Le signataire d'un message génère – grâce à un algorithme cryptographique spécifique – une valeur unique calculée à partir du message que l'on souhaite signer : un condensat (un haché) ;
   - Les algorithmes de calcul de condensat sont publics et ne gèrent pas de secret, donc tout le monde peut les utiliser et calculer les mêmes condensats à partir d'un même message ;
   - Deux messages différents ne peuvent pas donner lieu au même condensat.
2. Le signataire utilise l'algorithme de signature, qui prend en entrée sa clé privée et le condensat précédent, pour produire une signature électronique ;
3. Le signataire envoie (ou stocke) le message et la signature électronique, permettant ainsi à un lecteur d'en prendre connaissance ;
4. Le lecteur calcule lui-même le condensat du message en clair ;
5. Le lecteur utilise l'algorithme de vérification de signature, qui prend en entrée la clé publique du signataire, le condensat et la signature, pour rendre un verdict. Si le verdict est négatif, alors il ne faut pas faire confiance au message reçu (celui-ci ne correspond pas — pour une raison que l'on ignore — au message du signataire).

3. Les bases de la cryptographie

f. Signature électronique : illustration



Etapes de la signature :

Le signataire génère le condensat unique associé au message ;

② Le signataire utilise l'algorithme de signature, qui prend en entrée sa clé privée et le condensat précédent, pour produire une signature électronique ;

Le signataire envoie (ou stocke) le message et la signature électronique, permettant ainsi à un lecteur d'en prendre connaissance ;

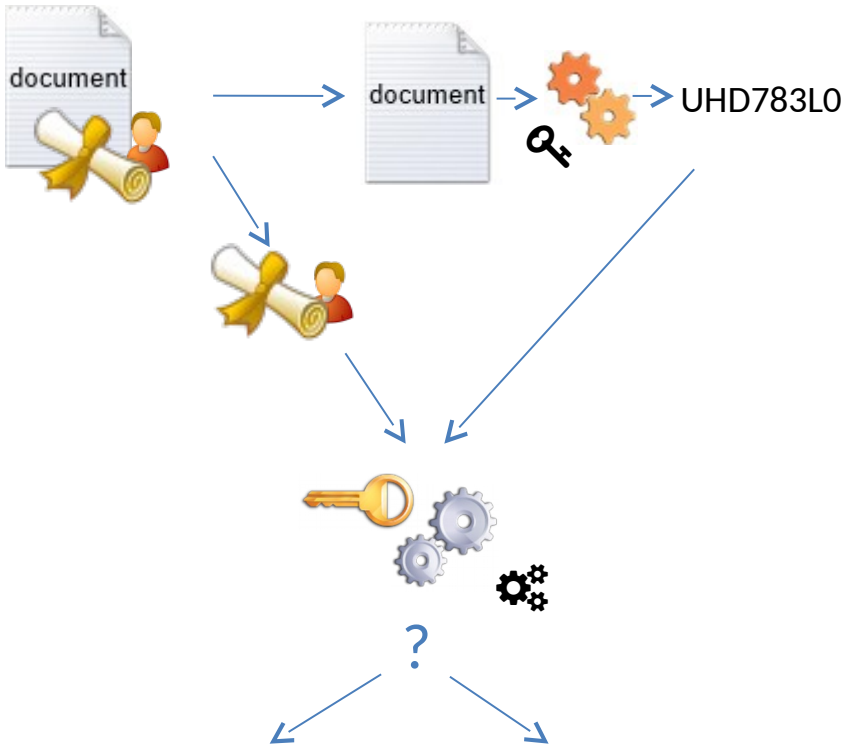
La vérification par le destinataire/lecteur est décrite sur la diapositive suivante.

Clé publique du signataire

Clé privée du signataire

3. Les bases de la cryptographie

f. Signature électronique : illustration



Etapes de la vérification de la signature par un lecteur/destinataire :

Le lecteur calcule le condensat du message en clair ;

Le lecteur utilise l'algorithme de vérification de signature, qui prend en entrée la clé publique du signataire, le condensat et la signature, pour rendre un verdict. Si le verdict est négatif, alors il ne faut pas faire confiance au message reçu (celui-ci ne correspond pas — pour une raison que l'on ignore — au message du signataire).

La signature est valide. Le message est intègre.

La signature est invalide. Le message n'est pas intègre.

Clé publique du signataire

Clé privée du signataire

3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques

Un aspect important n'a pas été traité jusqu'à maintenant :

Les interlocuteurs de Paul ont besoin d'utiliser sa clé publique. Comment peuvent-ils **être certains que la « clé publique de Paul » appartient effectivement à Paul** et qu'elle n'a pas été générée frauduleusement en son nom ? Autre exemple, comment les visiteurs d'un site web bancaire peuvent **être certains que le site web est légitime** et qu'il ne s'agit pas d'un site frauduleux imitant celui d'une banque ?

- Solution : utilisation de certificats électroniques.

3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques

Un certificat est un **fichier électronique** qui comprend notamment :

- La **clé publique** d'un individu (ou d'une entité ou d'un nom de domaine) ;
- Les détails de cet individu (ou de cette entité) : nom, prénom, nom de domaine, etc. ;
- La **signature par un tiers de confiance**, chargé de garantir que le propriétaire de la clé publique a été vérifié et – par conséquent – l'authenticité de la clé publique vis-à-vis de son propriétaire. La signature porte sur l'identité du détenteur et la clé publique afin d'assurer l'intégrité de l'ensemble ;
- D'autres informations telles que l'usage de la clé, les dates de validité, des informations concernant la révocation, etc.

Le tiers de confiance, une autorité de certification, en charge de :

- **Vérifier l'identité** de la personne demandant à créer le certificat ;
- **Créer le certificat** après vérification, **puis le signer** (avec la clé privée de l'autorité de certification) ;
- **Tenir à jour une liste des certificats qui ont été révoqués** (par exemple si la clé a été compromise).

3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques

Comment connaitre les autorités de certification ?

- Elles sont directement intégrées par les éditeurs dans les systèmes d'exploitation et/ou les navigateurs ;
- L'utilisateur est également libre de rajouter l'autorité de certification de son choix si il choisit de faire confiance à des certificats signés par une autorité non-intégrée dans son navigateur.

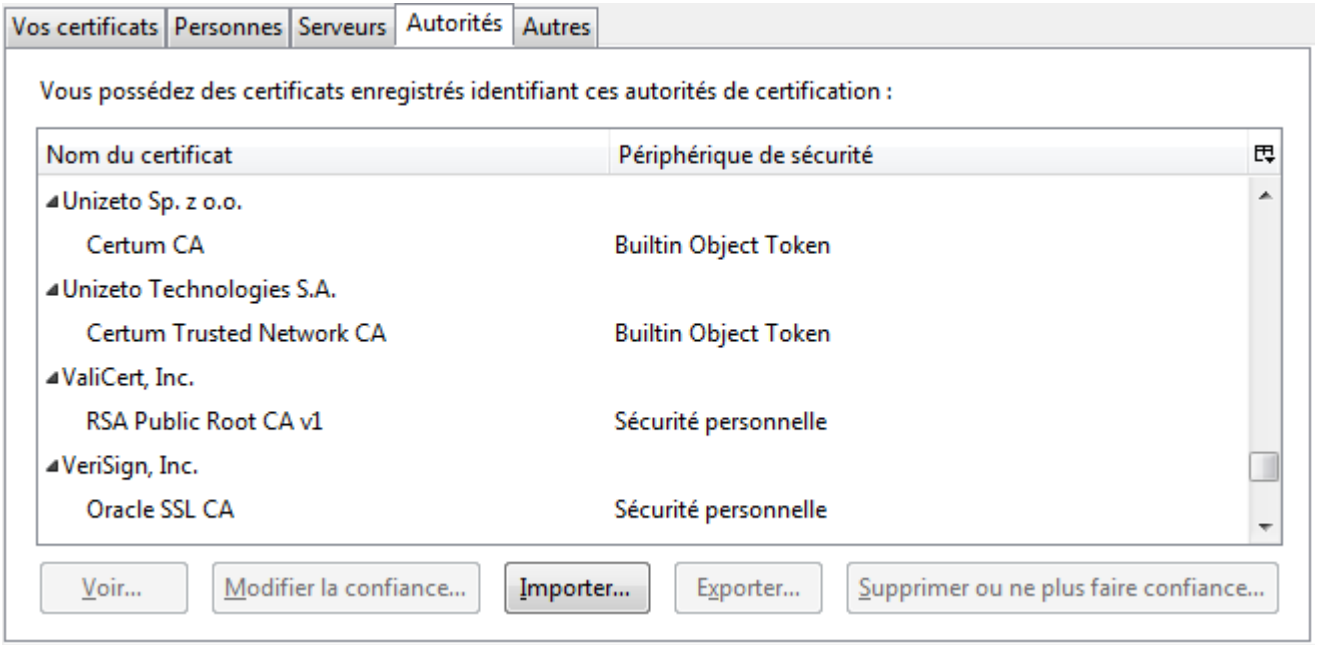


Image : magasin de certificats de Firefox

3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques

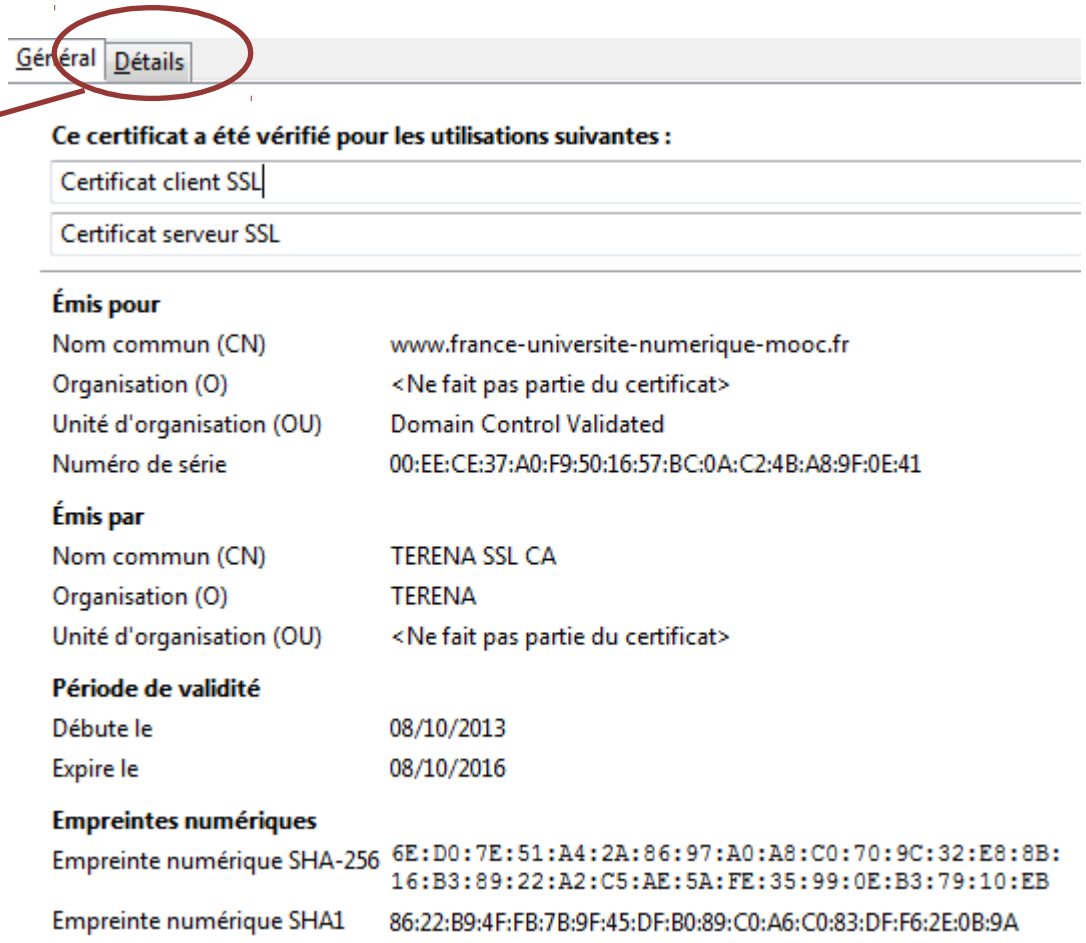
Exemple d'un certificat pour le site web www.france-universite-numerique-mooc.fr

Les détails techniques du certificat, la clé et la signature se trouvent dans **Détails**

Détenteur de la clé publique

Autorité de certification

Dates de validité du certificat



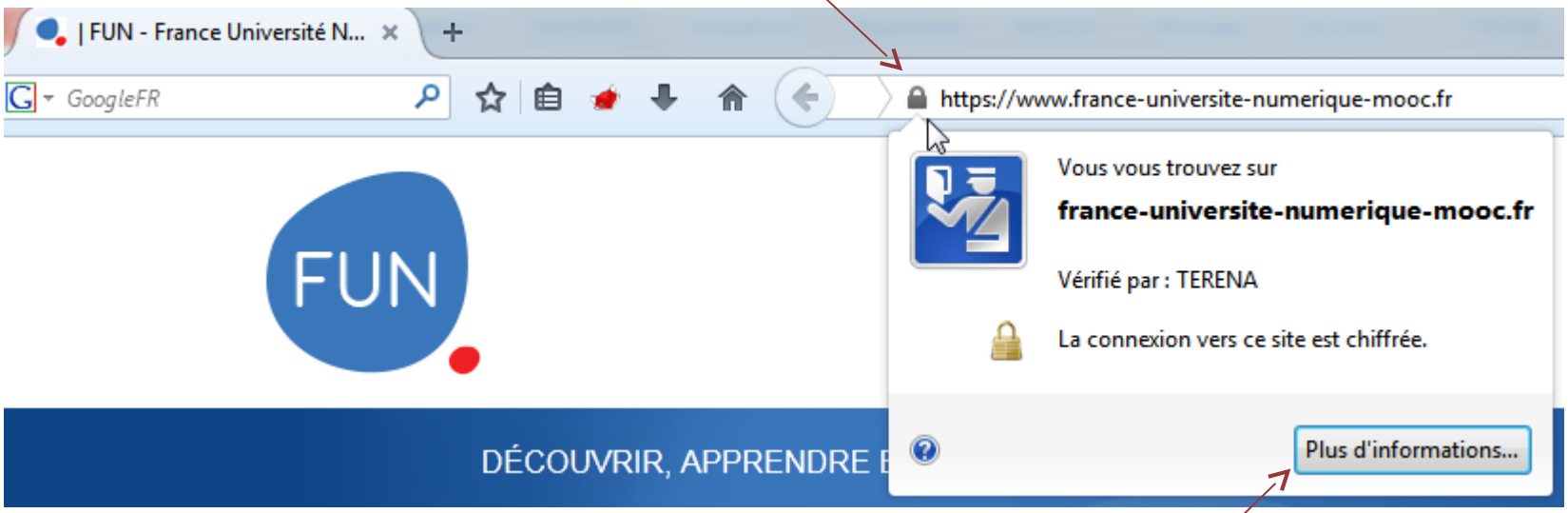
3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques

Où trouver les certificats dans un navigateur ?

Exemple avec Firefox pour ouvrir le certificat d'un site WEB

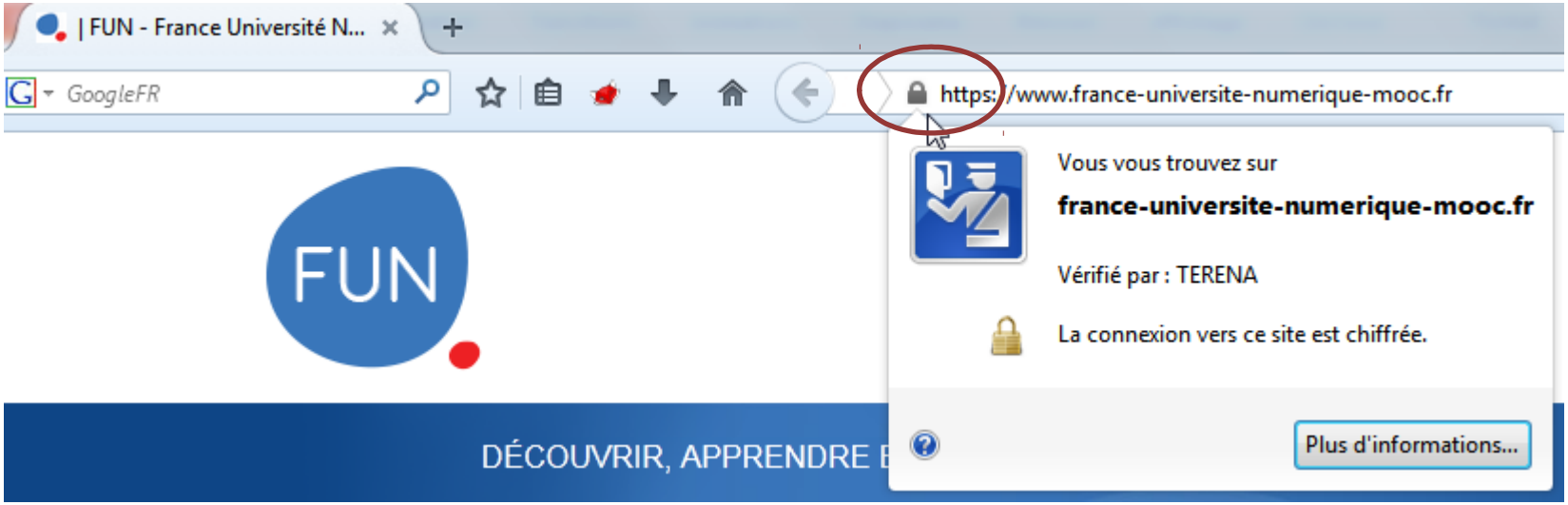
Cliquer sur le cadenas à côté de l'URL



Cliquer ici pour afficher le certificat

3. Les bases de la cryptographie

g. Certificats électroniques



Puisque le certificat du site WEB est disponible et valide, cela amène donc deux avantages à l'utilisateur, caractéristiques du HTTPS

- Nous sommes confiants que **le site WEB est légitime** (i.e. le certificat a été vérifié et signé par une autorité de certification de confiance) ;
- Puisque le certificat contient la clé publique du site WEB, nous pouvons donc **chiffrer nos connexions vers ce site** (méthode : chiffrement avec la clé publique du destinataire comme nous l'avons vu au préalable dans ce cours).

3. Les bases de la cryptographie

h. Jetons cryptographiques (tokens)

- Les jetons sont utilisés pour **stocker des clés privées** (cryptographie asymétrique) ou **secrètes** (cryptographie symétrique) ;
- Puisqu'un jeton contient une information sensible (une clé privée ou secrète), il faut donc **protéger ce jeton** pour que seules les personnes habilitées puissent l'utiliser ;
- Exemples de jetons et leurs moyens de protection (ainsi que leur niveau de sécurité) :

  - **Fichier sur disque**, associé à un mot de passe connu de l'utilisateur seulement (exemple avec l'application libre GPG) ;

  - **Jeton USB**, associé à un mot de passe (exemple de nombreux produits commerciaux qui utilisent un jeton physique pour authentifier un utilisateur sur un poste de travail) ;

  - **Carte à puce**, associée à un mot de passe simple (exemple des cartes bancaires avec un code PIN permettant d'authentifier le propriétaire de la carte avant d'autoriser la transaction).
    - Afin d'éviter qu'une personne malveillante ne découvre facilement le mot de passe simple, on impose un verrouillage de la carte à puce après 3 tentatives infructueuses.

CyberEdu

La sécurité par l'enseignement supérieur des NTIC

Merci de votre attention