Soutenance projet annuel - Audit des implantations SSL/TLS

Claire Smets – William Boisseleau – Pascal Edouard – Mathieu Latimier – Julien Legras

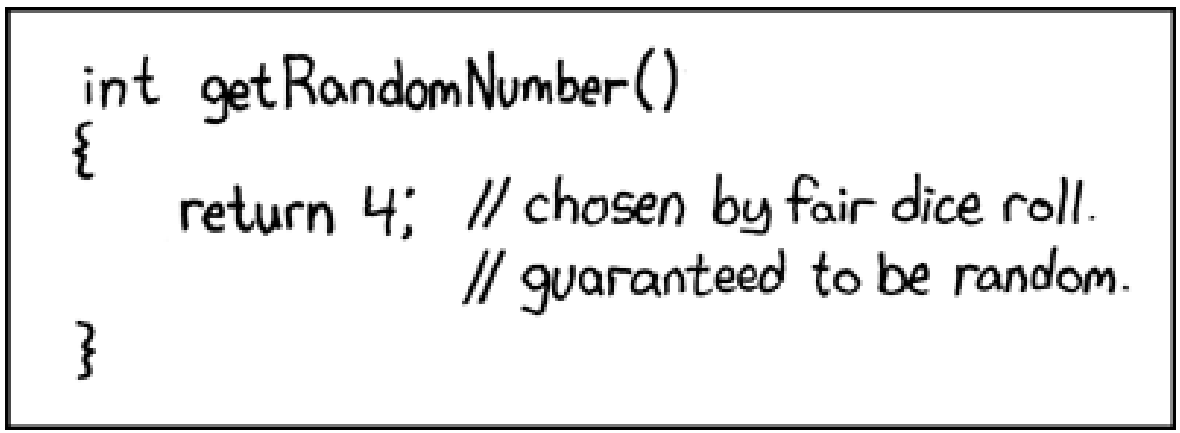
Master 2 Sécurité des Systèmes Informatiques

28/02/2014

Sujet et problématique I

Motivations

- incertitudes cryptographiques liées aux récents scandales ;
- 2012 – étude de l'Université du Michigan sur la sécurité d'internet : *Mining your Ps and Qs : Widespread Weak Keys in Network Devices*



Sujet et problématique II

Projet

- mesure de l'évolution par rapport à cette étude ;
- identification des problèmes avérés ;
- audit de la principale bibliothèque : OpenSSL.

Exigences du client

- audit des certificats RSA ;
- données importantes pour résultats représentatifs (500 000 certificats).

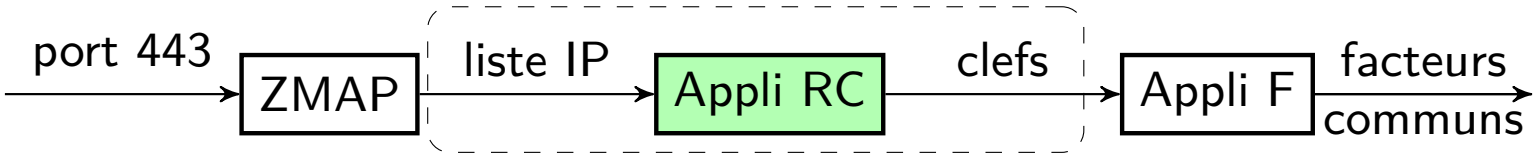
Sommaire

Récupération des adresses

ZMAP

- open source dévoloppé par l'équipe de l'Université du Michigan ;
- scanneur de ports : jusqu'à 1,4 millions de paquets SYN par seconde.

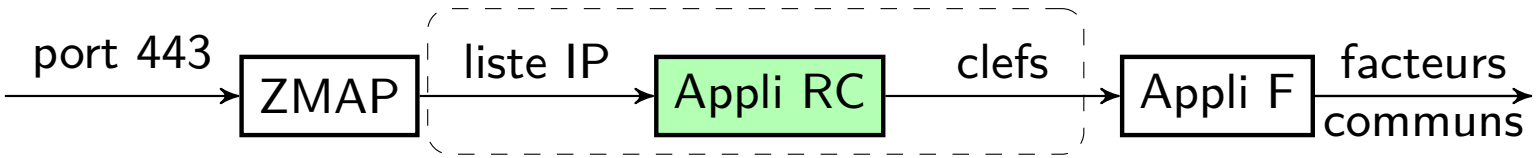
Récupération des certificats I



Récupération des certificats

- commandes openssl pour établir la connexion SSL ;
- enregistrement de la session ;
- extraction des certificats et des clefs RSA de la session SSL ;
- élimination des doublons.

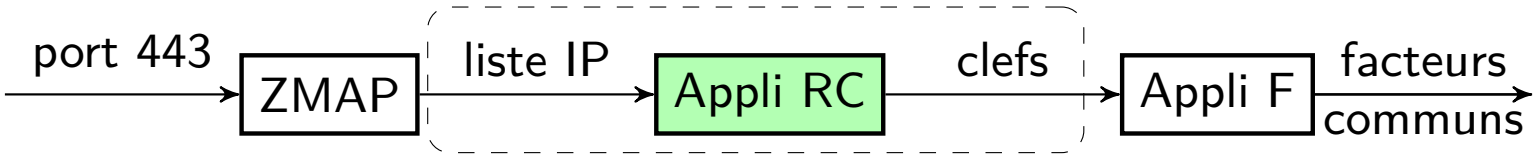
Certificats récupérés

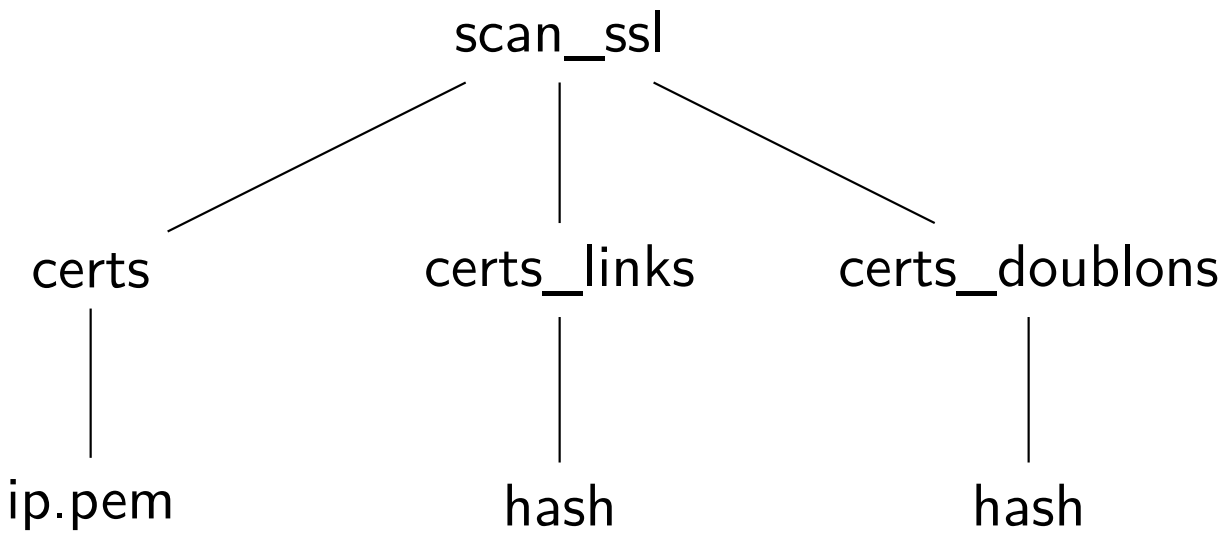


Certificats malformés

- *Common Name* vide : validation impossible au regard du nom de domaine ;
- *Serial Number* seul : absence totale d'informations sur le certificat.

Gestion des doublons





Factorisation

Rappels sur la génération des clefs RSA

Algorithme de génération de clefs RSA

1. générer p et q premiers et différents ;
2. calculer $N = p \times q$ et $\phi(N) = (p-1) \times (q-1)$ (indicatrice d'Euler) ;
3. tirer aléatoirement $e \in \mathbb{Z}/\phi(N)\mathbb{Z}$;
4. calculer d tel que $d \times e \equiv 1 \mod \phi(N)$;
5. *clef publique* $= N, e$; *clef privée* $= p, q, d$

Factorisation

Factorisation des clefs RSA

Factorisation de clefs RSA

1. Algorithme naïf :
   - calcul de PGCD deux à deux ;
   - complexité : $O(n!)$.
2. Algorithme de Bernstein *How to find smooth parts of integers ?*
   - structure arborescente ;
   - complexité : $O(n \times lb(n))$.

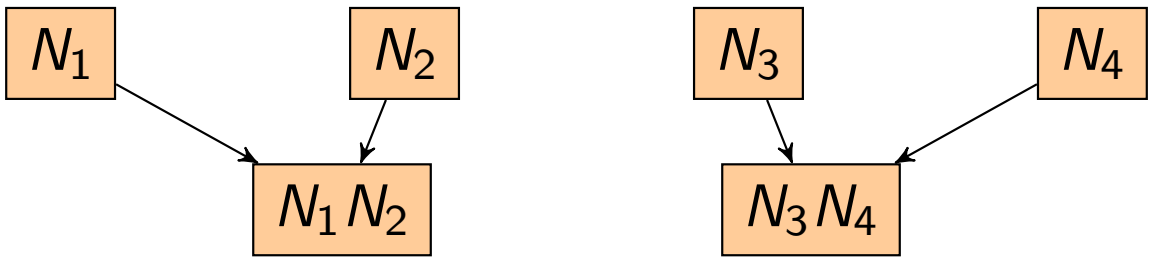
Factorisation

PGCD deux à deux

N_1 N_2 N_3 N_4

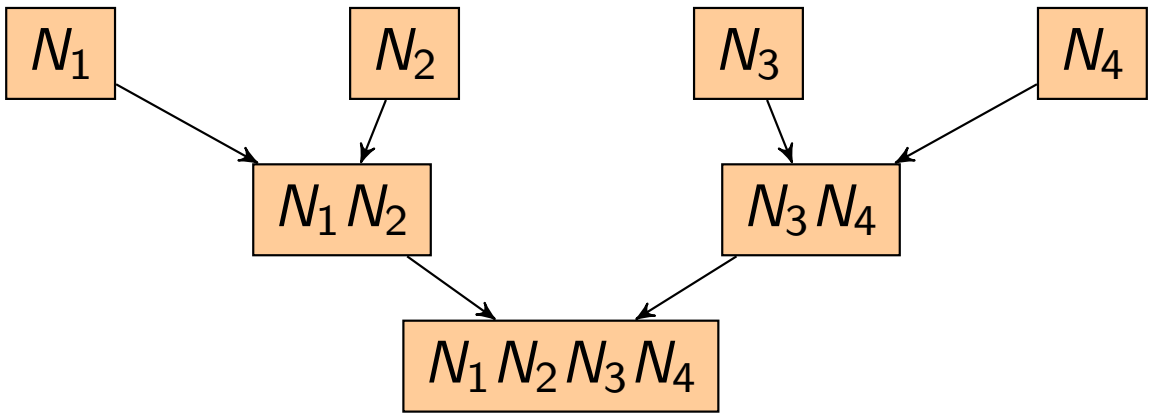
Factorisation

PGCD deux à deux



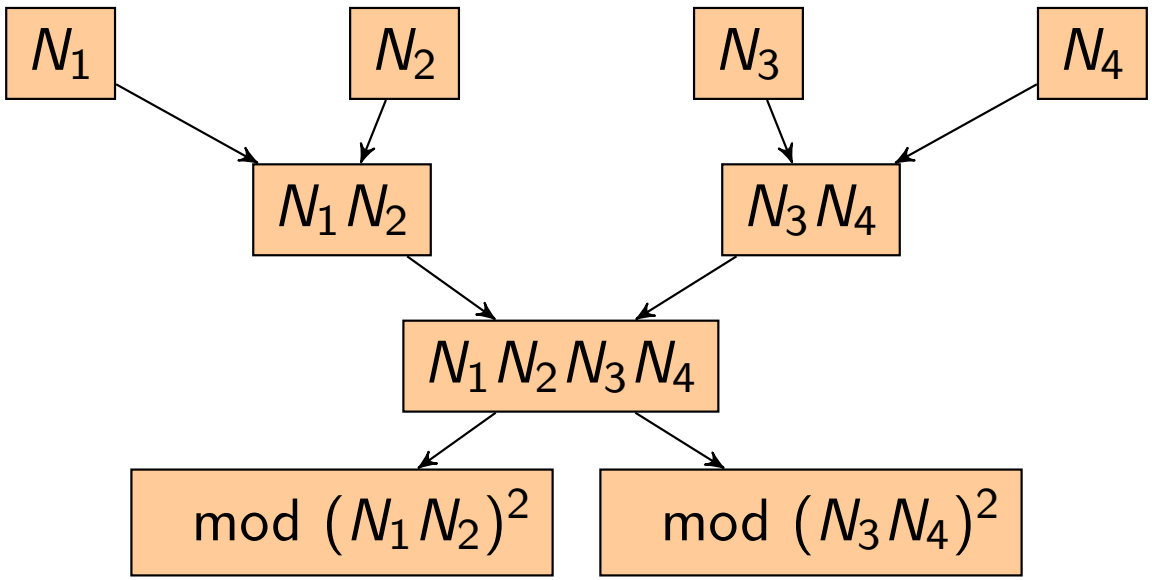
Factorisation

PGCD deux à deux



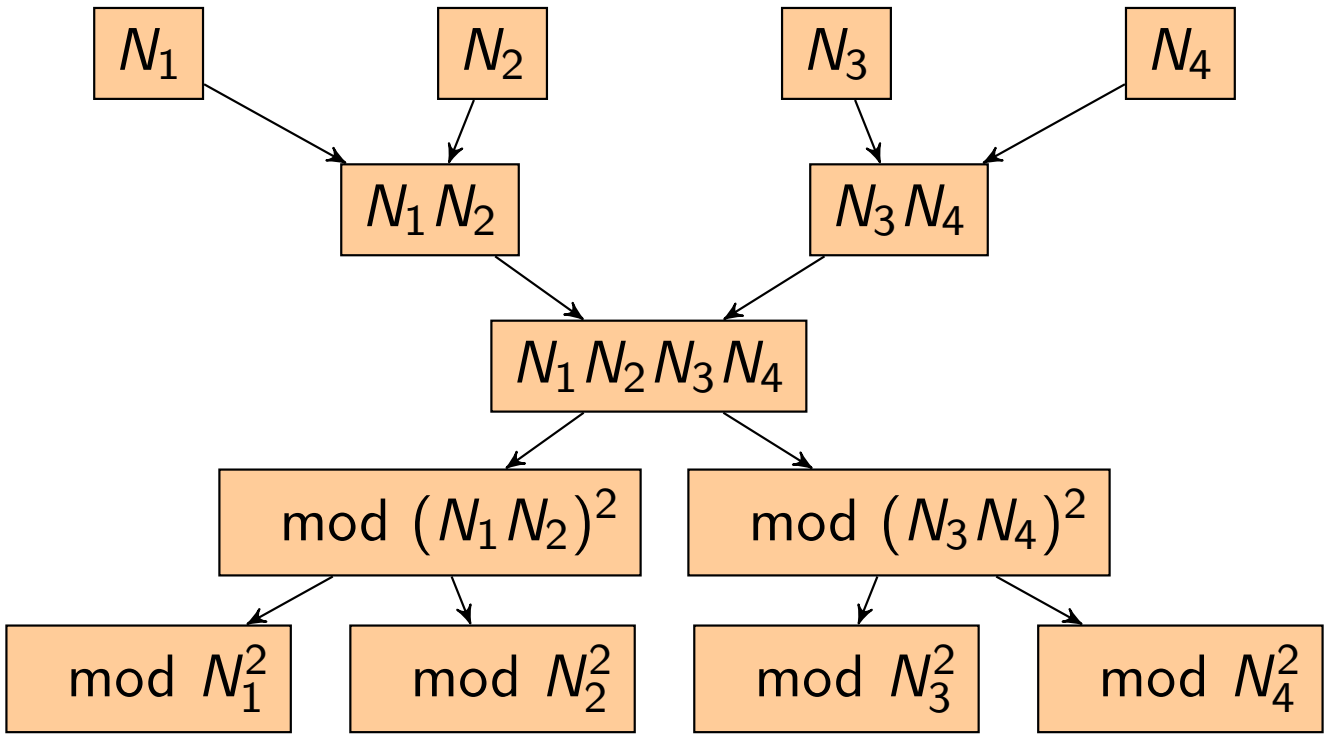
Factorisation

PGCD deux à deux



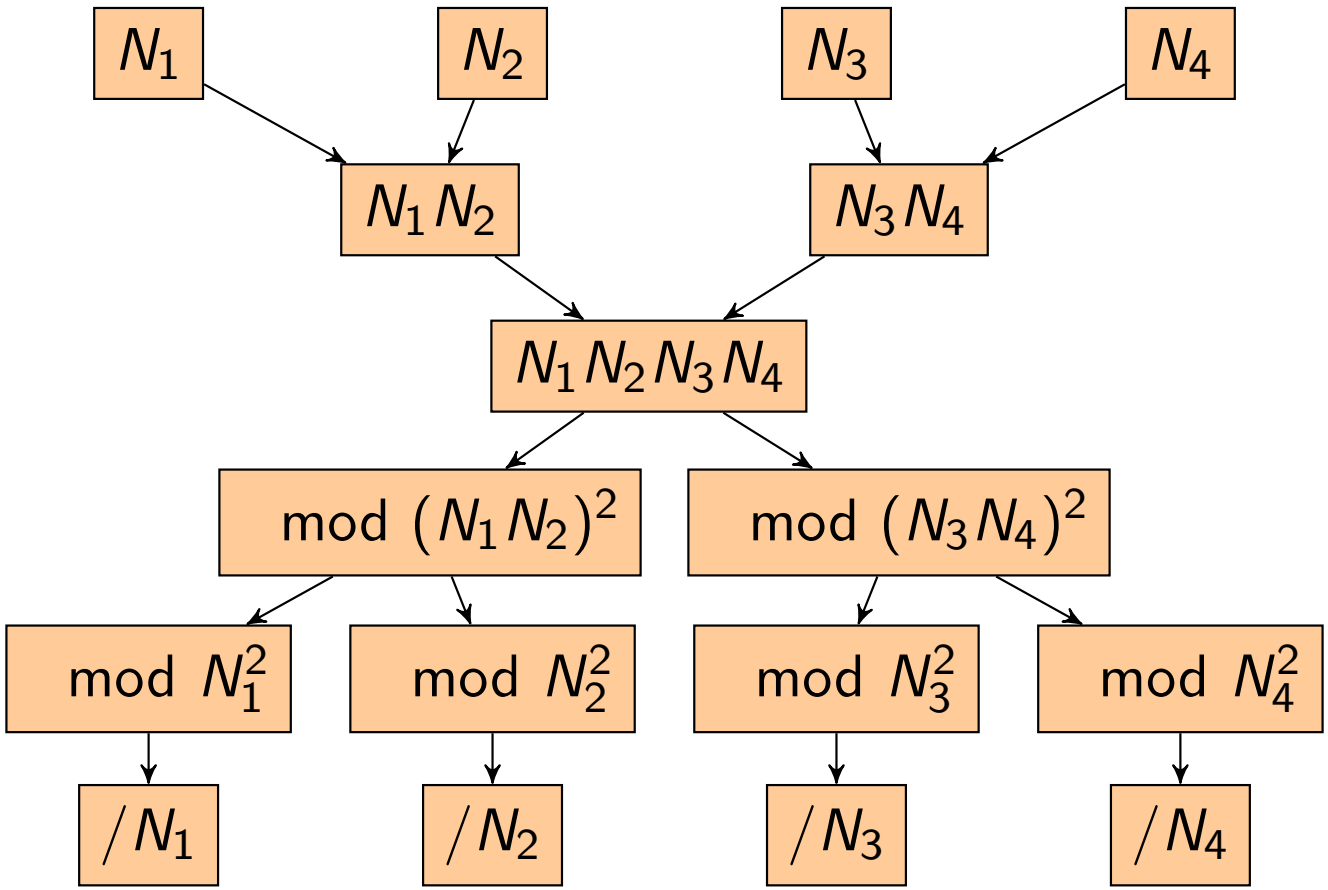
Factorisation

PGCD deux à deux



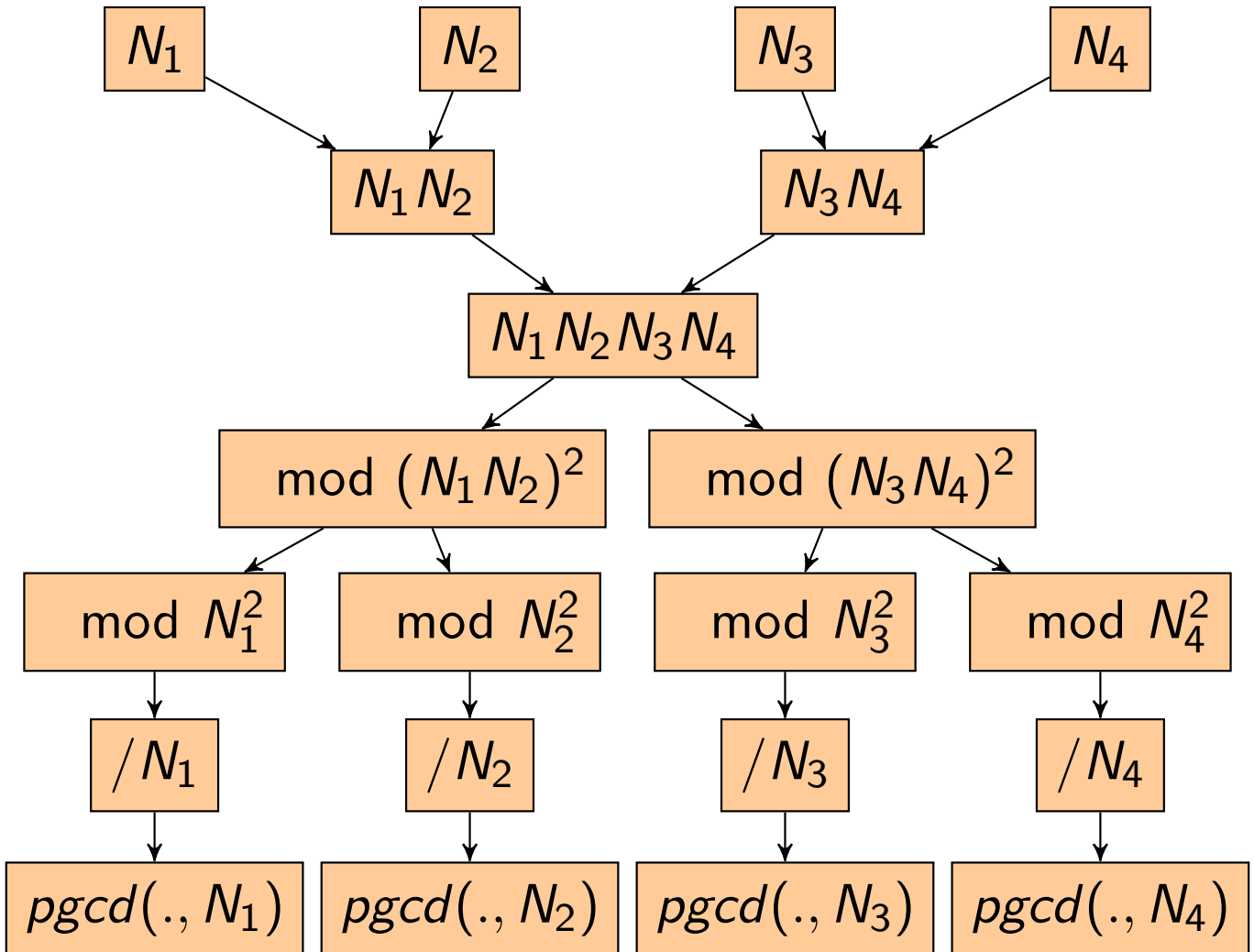
Factorisation

PGCD deux à deux



Factorisation

PGCD deux à deux



Factorisation

Exemple

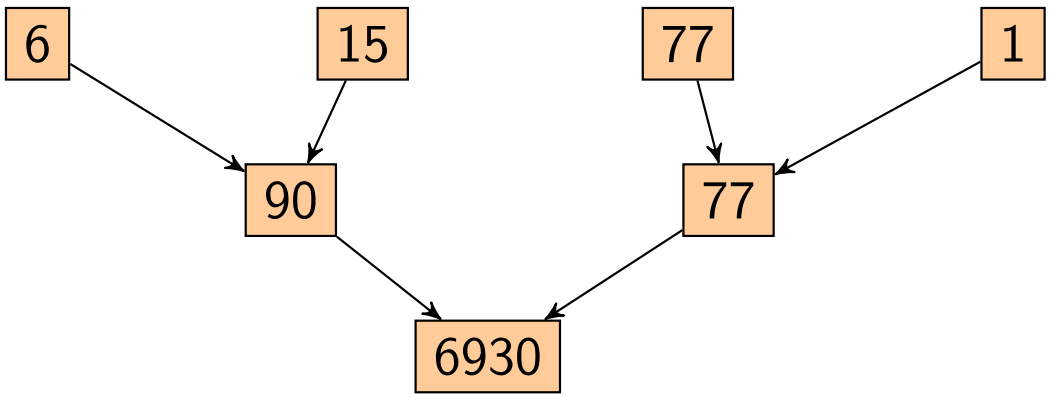
6 15 77 1

Factorisation

Exemple

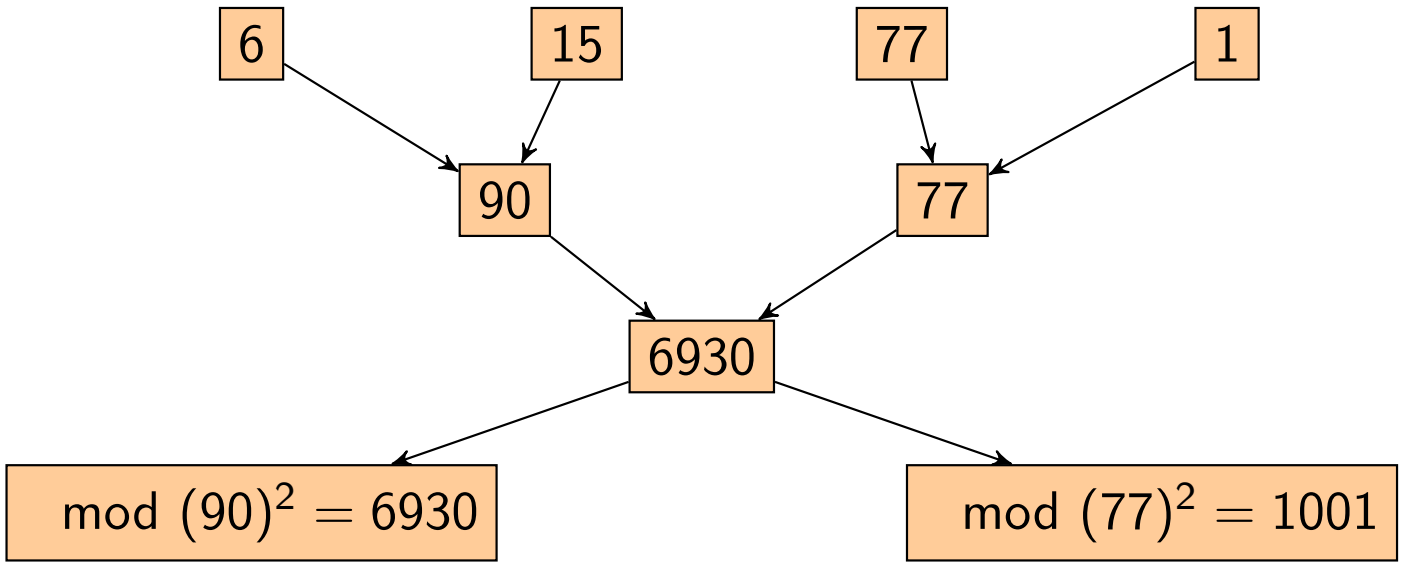
Factorisation

Exemple



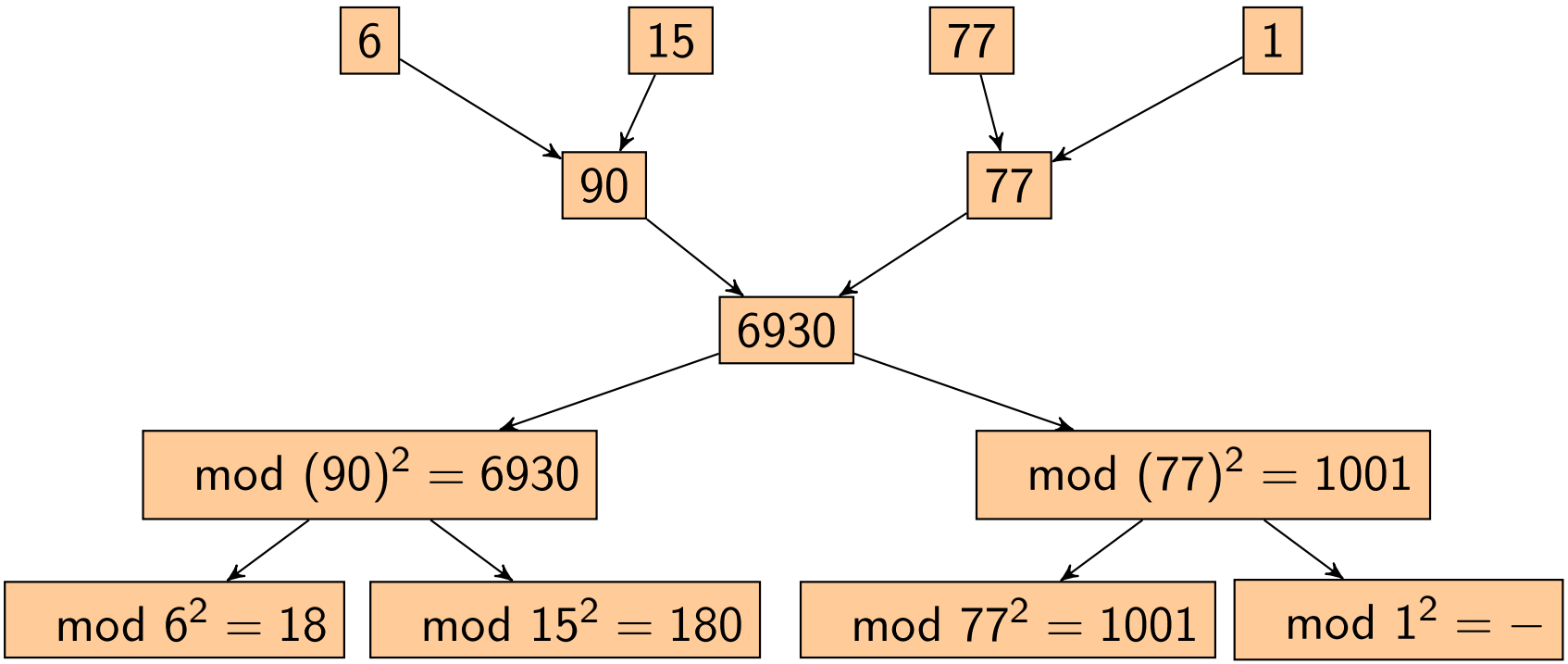
Factorisation

Exemple



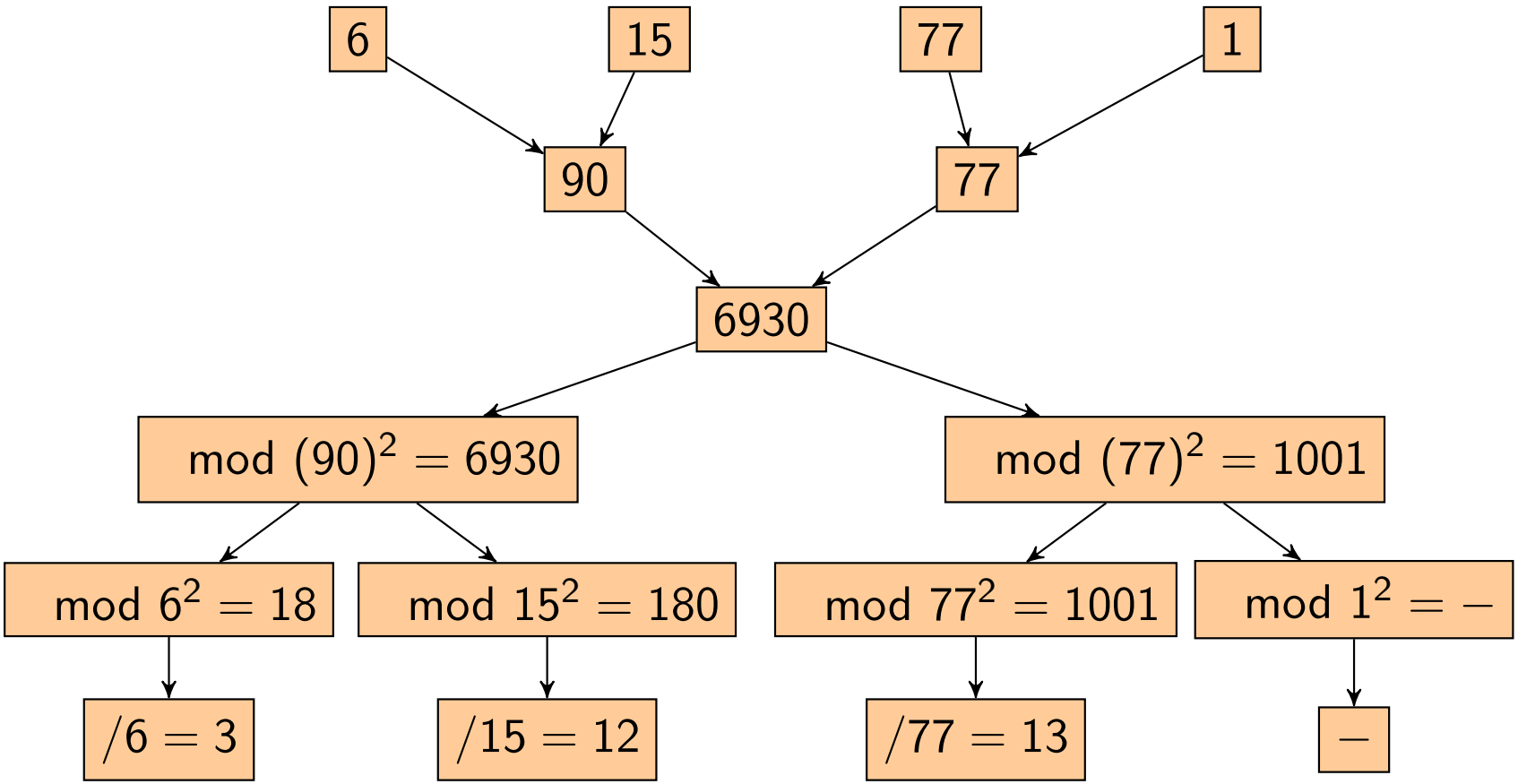
Factorisation

Exemple



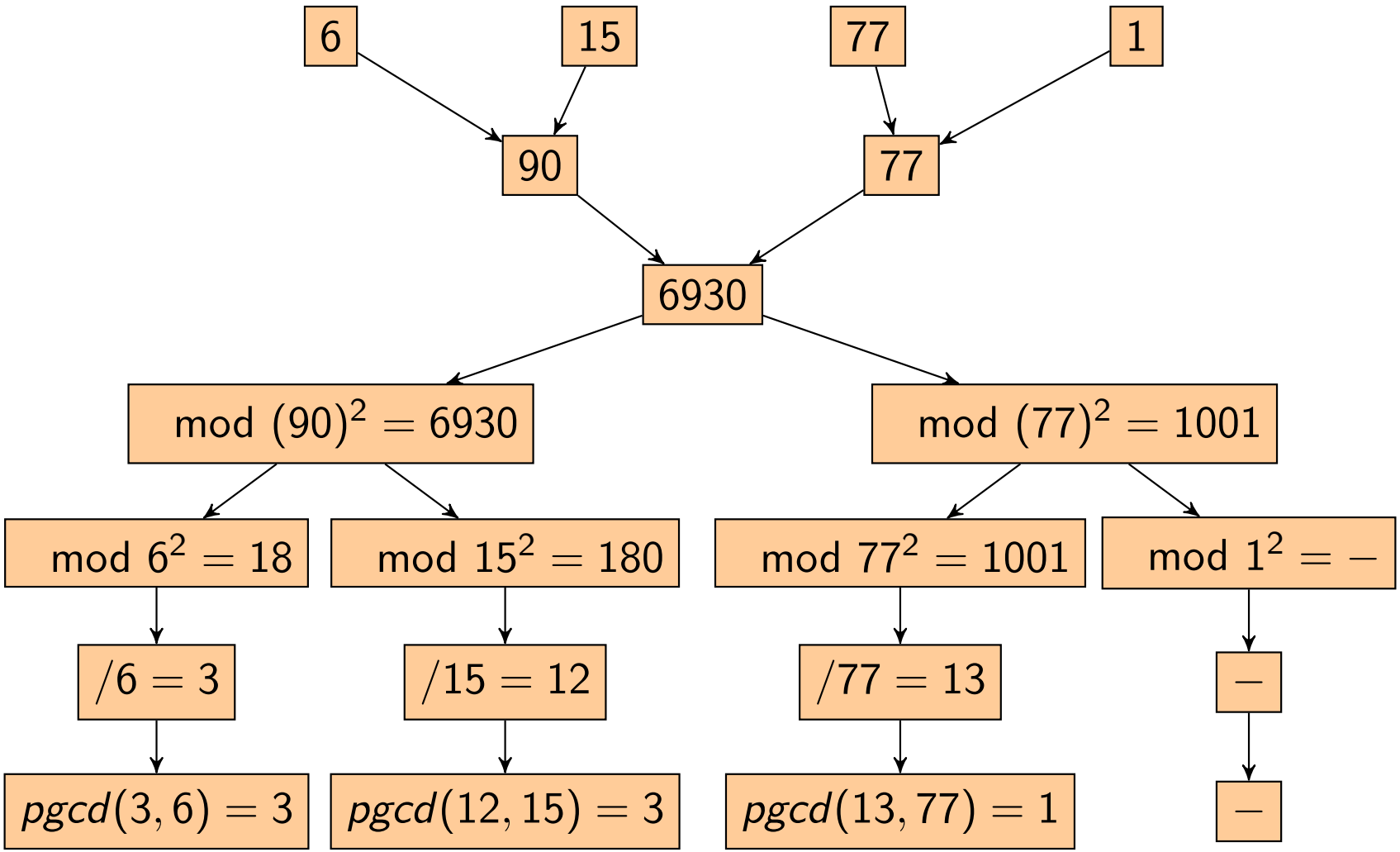
Factorisation

Exemple



Factorisation

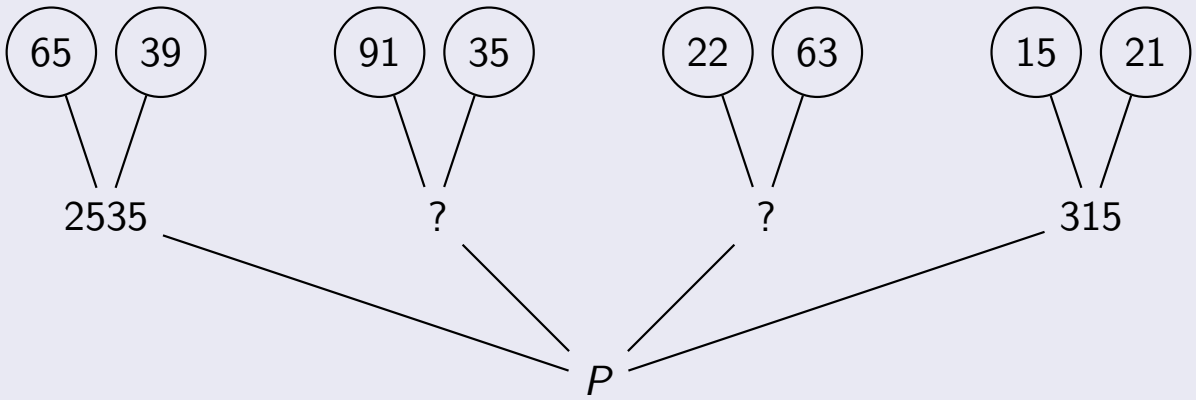
Exemple



Optimisations I

Parallélisation

En largeur avec 100 threads



Parallélisation

En hauteur : ralentissement du traitement à cause de la dépendances entre les niveaux

Optimisations II

Langage et bibliothèque

C & *libGMP*

Stockage

- programme initial : utilisation de fichiers pour stocker chaque niveau ;
- programme amélioré : stockage de l'arbre des produits en RAM (4-5 Go pour 500 000 clefs).

  $\Rightarrow$ jusqu'à 10 fois plus rapide même avec un SSD

Calcul des carrés

Préférer la fonction d'exponentiation de GMP plutôt que la multiplication $\Rightarrow$ jusqu'à 5 fois plus rapide

Factorisation

Démonstration

Jeu de données : `15, 22, 437, 1189, 527, 21, 3233, 3827`

Bilan

Deux jeux de données

1. clefs récupérées par notre script : 90 000 ;
2. clefs du projet Sonar : 527 000 fin janvier `https://scans.io/stduy/sonar.rdns/`.

Traitement

- factorisation ;
- insertion dans une base de données ;
- développement d'une interface web avec graphiques :
  1. 125 vulnérables (0,12%) ;
  2. 2 382 vulnérables (0,46%) – 40 de Cisco.

Analyse d'un certificat vulnérable

SSL Report: s[redacted].net (8[redacted]3)

Assessed on: Thu Feb 27 20:19:19 UTC 2014 | Clear cache

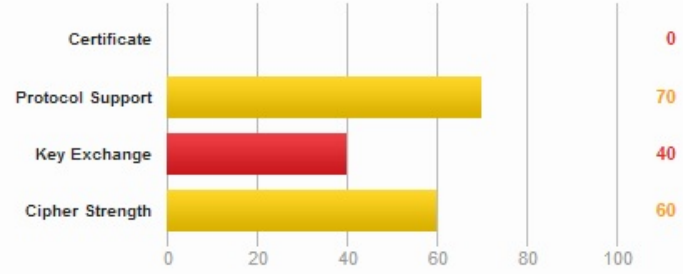
Scan Another »

Summary

Overall Rating

F

If trust issues are ignored: C



Documentation: SSL/TLS Deployment Best Practices, SSL Server Rating Guide, and OpenSSL Cookbook.

This server's certificate is not trusted. Grade set to F.

This server does not mitigate the CRIME attack. Grade capped to B.

The server supports only older protocols, but not the current best TLS 1.2. Grade capped to B.

The server private key is not strong enough. Grade capped to B.

There is no support for secure renegotiation. MORE INFO »

The server does not support Forward Secrecy with the reference browsers. MORE INFO »

Introduction I

OpenSSL

API libre implémentant des primitives cryptographiques et le protocole SSL/TLS.
450 000 lignes de code.

Historique d'OpenSSL

- SSLeay développé par Eric Young & Tim Hudson chez Cryptosoft ;
- 1998 – passation du projet à la communauté : OpenSSL ;
- 6 janvier 2014 – version 1.0.1f.

Introduction II

Contexte

- origine de vulnérabilité des certificats ;
- contexte actuel : sentiment d'incertitude ;
- beaucoup d'outils utilisés.

Audit d'OpenSSL

Trois grands axes :

- la génération de l'aléatoire ;
- la génération des clefs ;
- le protocole SSL/TLS.

Méthodologie de recherche de failles

Où ?

- site des CVE mitre ;
- site de Vigil@nce ;
- RFC et standards.

Corrections ?

Présence de corrections ? Si oui, lesquelles et par qui ?

OpenSSL

Points négatifs

- documentation peu fournie ;
- développement en mode réactif ;
- illisibilité du code :

```
n=((p[0]&0x7f)<<8)|p[1];
```

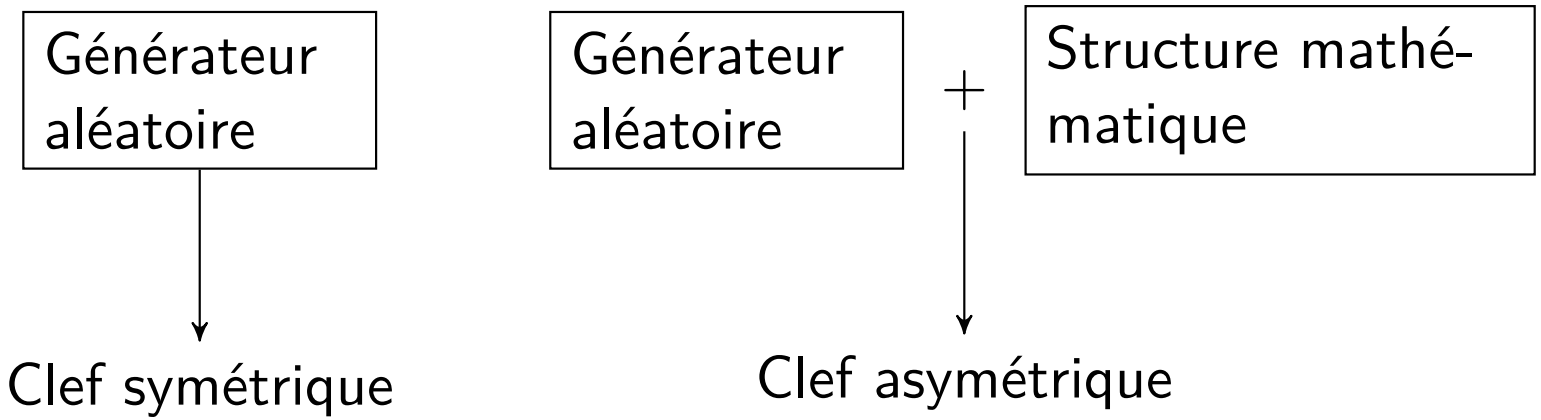
Poins positifs

- nom des fichiers standardisé : `s3_` ;
- commentaires des commits.

Génération des clefs

Principes de Kerckhoffs

- le *secret* réside dans la clef ;
- les algorithmes de génération de clefs ne doivent donner aucune information sur la clef.



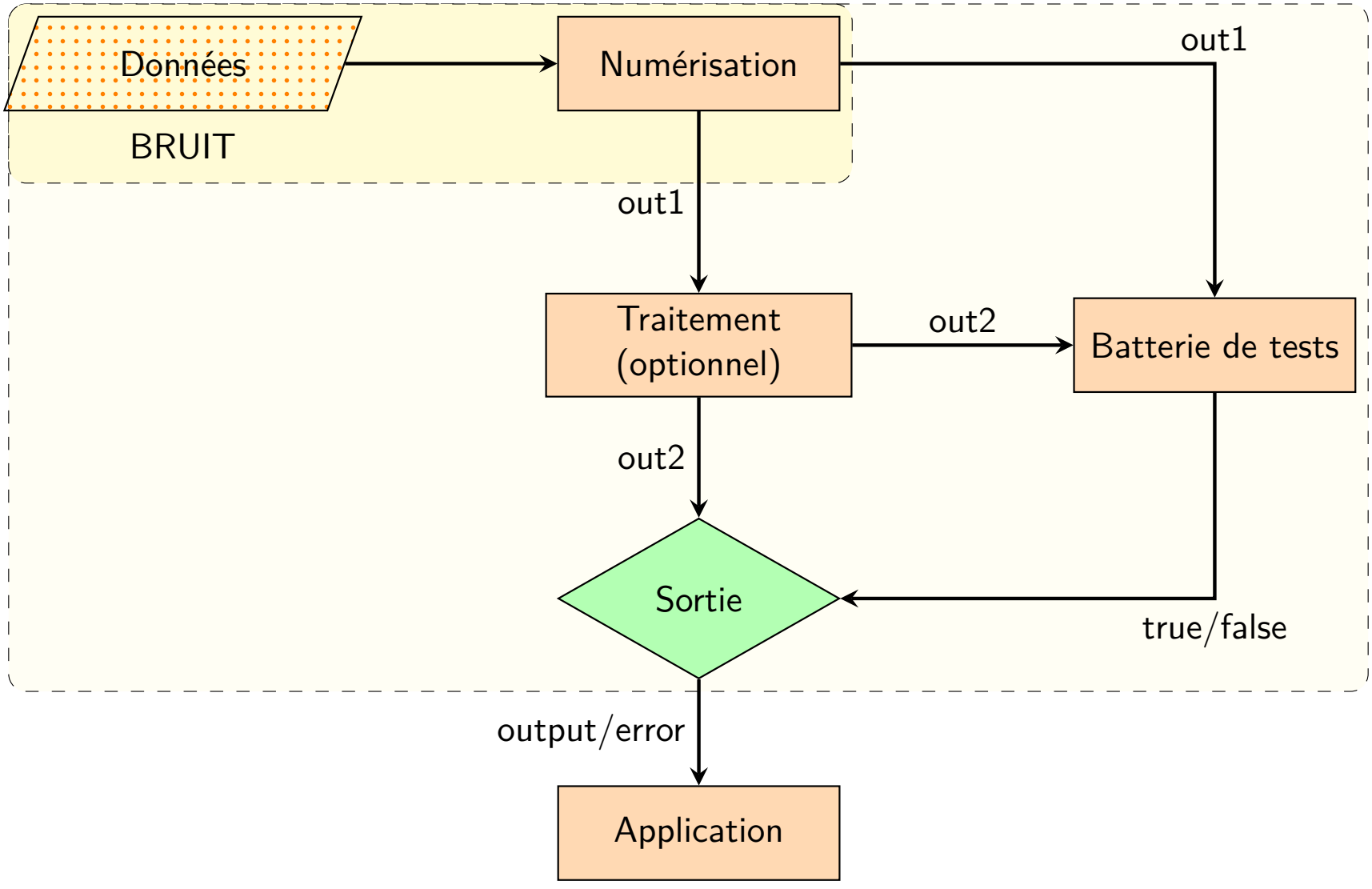
Générateur aléatoire

Définitions

Générateur

- problème aléatoire ;
- mesure de l'entropie : $H(X) = -\sum_x P(X = x) \times \log_2(P(X = x))$ (exprimée en Shannon) :
  - si la VA est équirépartie alors l'entropie est maximale ;
  - sinon inférieure à 50%.
- entropie et moduli.

Entropie


Données
BRUIT
Numérisation
out1
out1
Traitement
(optionnel)
out2
Batterie de tests
out2
Sortie
true/false
output/error
Application

Entropie

Tests

- tests trop anciens, `FIPS 140-1` (1994), non mis à jour :
  - test monobit ;
  - test poker ;
  - test runs ;
  - test long runs.
- autres tests proposés dans le rapport.

Entropie – Démonstration

Faille Debian 4.0 sous OpenSSL 0.9.8

Après avoir récupéré l'ensemble des certificats sur l'Internet, on peut identifier rapidement ceux qui ont étés générés durant la faille Debian/OpenSSL entre 2006 et 2008.

- **durée de l'attaque** : quelques heures ;
- **conséquences** : forger de faux certificats, de fausses signatures et déchiffrer des messages privées ;
- **qui ?** : grandes entreprises (e.g. IBM, CISCO), routeurs, universités, etc. ;
- **fin de validité de certificats** : 2020 – 2030.

Génération des clefs II

Audit : Diffie-Hellman Ephémère en mode FIPS

- **Description** : Un attaquant écoutant une communication chiffré en SSL/TLS entre un client et un serveur peut déchiffrer tout les messages en forçant la génération d'un secret Diffie-Hellman prédictible.
- **Comment ?** : En modifiant le trafic réseau par exemple.
- **Pourquoi ?** : L'activation du mode FIPS ne rejette pas les paramètres P/Q faibles pour les algorithmes EDH/DHE.
- **Où ?** : Dans `crypto/dh/dh_key.c` une partie de code génère un faux positif dans certains cas (sur une condition de test).
- **Solution :** Logiciel *Nessus Vulnerability Scanner* pour tester la configuration des serveurs.

Chiffrement et protocoles I

RSA-OAEP

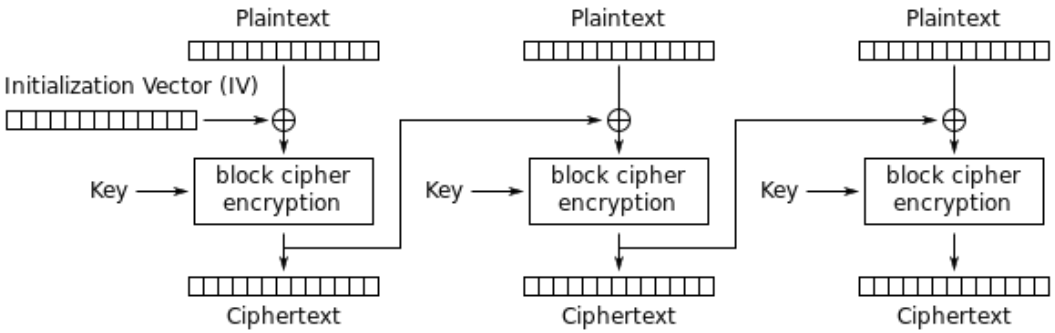
laïus RSA-OAEP (fonctionnement, +, -)

Manger's attack

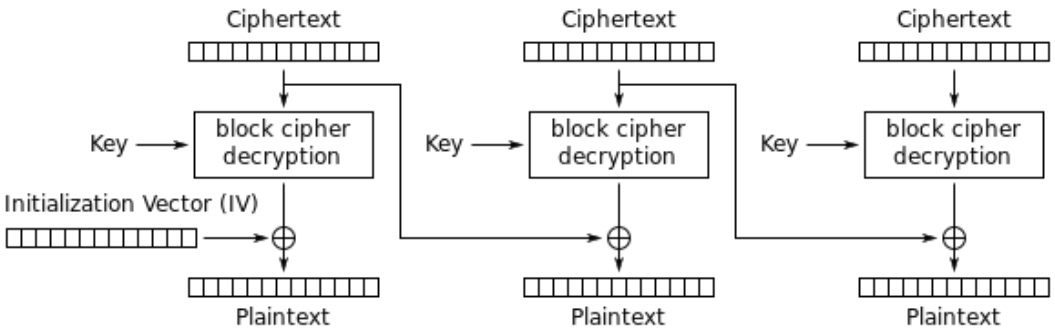
- OpenSSL 1.0.0 ;
- OAEP : défaillant ?
- contrôler la taille des paramètres à hacher ;
- sur serveur : variations de délais ;
- systèmes embarqués : plus problématique.

Chiffrement et protocoles II

CBC



Cipher Block Chaining (CBC) mode encryption



Cipher Block Chaining (CBC) mode decryption

Chiffrement et protocoles III

Man in the Middle

- attaque à clair choisi ;
- récupérer cookies de session.

Problème

- SSL/TLS chiffre un canal de communication ;
- problème d'IV.

Recommandations

- ne pas utiliser CBC ;
- concaténer tous les objets.

Signature et authentification I

Définition

- Juridiquement, une signature électronique a même valeur qu'une signature manuscrite.
- Elle **DOIT** assurer l'intégrité, l'authentification et la non-répudiation d'un message.

Des anciennes versions d'OpenSSL ont des vulnérabilités au niveau de la vérification de messages signés, ou des fuites d'informations sur la clef privée ayant servi à chiffrer.

Signature et authentification II

Audit : Attaque par injection de fautes sur les certificats RSA.

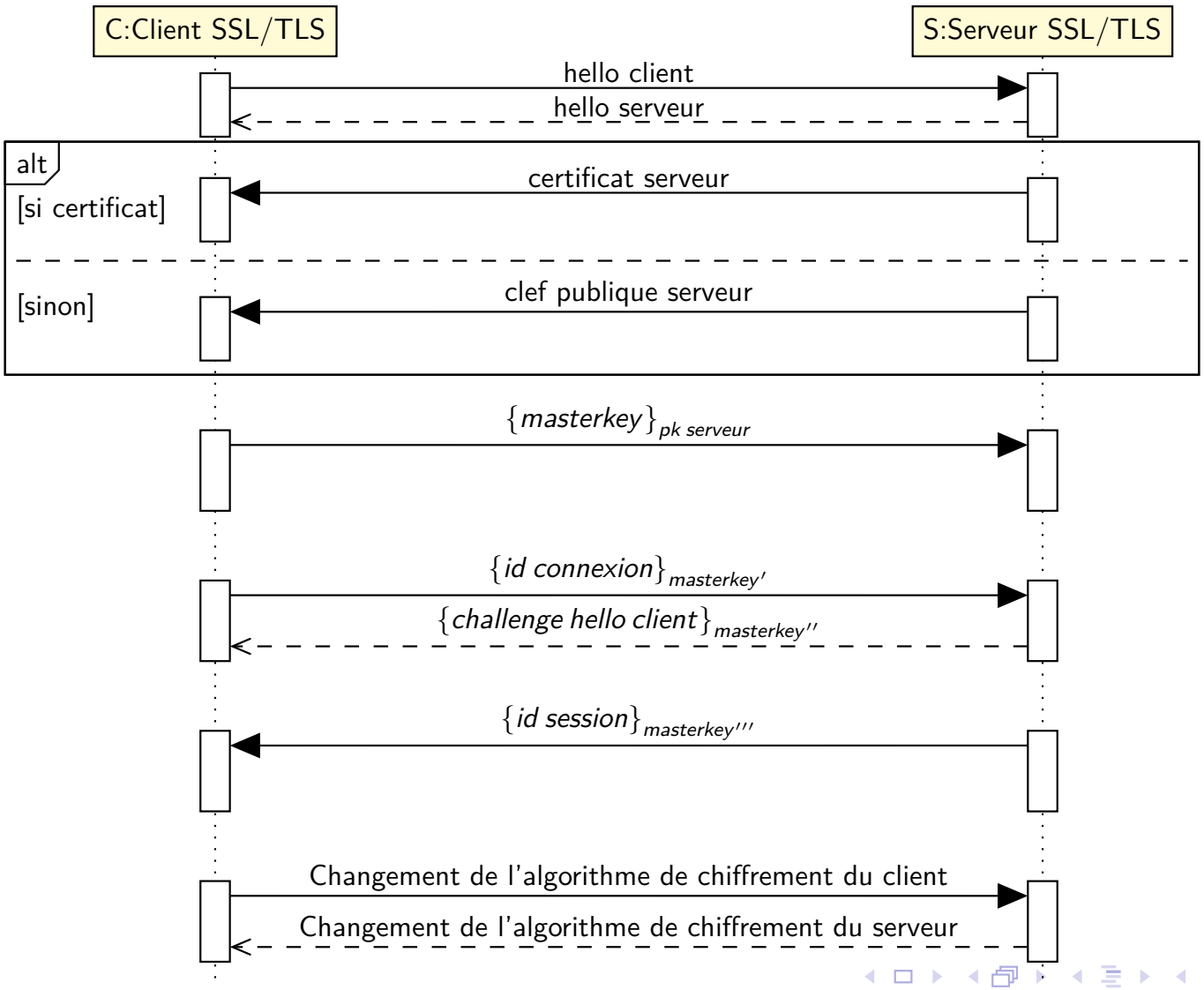
- **Description** : L'attaque se fait sur des morceaux de la signature afin de récupérer la clef privée bit à bit.
- **Comment ?** : Du bon matériel, surtout au niveau de la mémoire vive (i.e. Système Linux avec une architecture SPARC) et un oracle (e.g. système de prédictions) permettant de fabriquer la clef.
- **Temps de l'attaque** : une centaine d'heures.

Signature et authentification III

Audit : Attaque par injection de fautes sur les certificats RSA.

- **un problème dans le code OpenSSL ?** : la fonction `Fixed_Window_Exponentiation` utilise des milliers de multiplications, qui est l'opération la plus sensible en cas de dégradation du micro-processeur.
- **solution :** Aucune ! On pourrait utiliser la technique du `square_and_multiply` mais elle a l'inconvénient d'être vulnérable à une attaque par *timing*.
- **conséquences :** à moins que l'attaquant n'ait accès physiquement à votre machine les risques sont faibles. Cependant l'Université du Michigan cherche un moyen de faire des injections à distance à base d'`impulsions lasers`.

Protocole SSL/TLS I



Protocole SSL/TLS II

Historique

- SSL 1.0 et 2.0 (1995) conçues par Netscape, 3.0 (1996) par l'IETF ;
- TLS 1.0 (1999) : légère amélioration de SSL 3, ajout d'extensions ;
- TLS 1.1 (2006) : protection contre les attaques contre CBC ;
- TLS 1.2 (2008) : remplacement MD5/SHA1 par SHA256, ajout des modes GCM et CCM.

Failles notables d'OpenSSL

SSL 3 et TLS 1.0 :

- 2002 - attaque sur le padding du mode CBC par Serge Vaudenay (reprise par Lucky Thirteen) : *timing attack* ;

TLS 1.1 :

- **2011** (CVE-2011-4576) - récupération d'informations sur un échange précédent : mémoire non réinitialisée ;
- **2013** (CVE-2013-0169)- Lucky Thirteen : *timing attack*, 2^{23} sessions TLS pour retrouver un bloc en clair ;

TLS 1.2 :

- **2013** (CVE-2013-6449) - déni de service en envoyant une structure mal formée causant un *crash* dans la fonction `ssl_get_algorithm2`

Ouverture

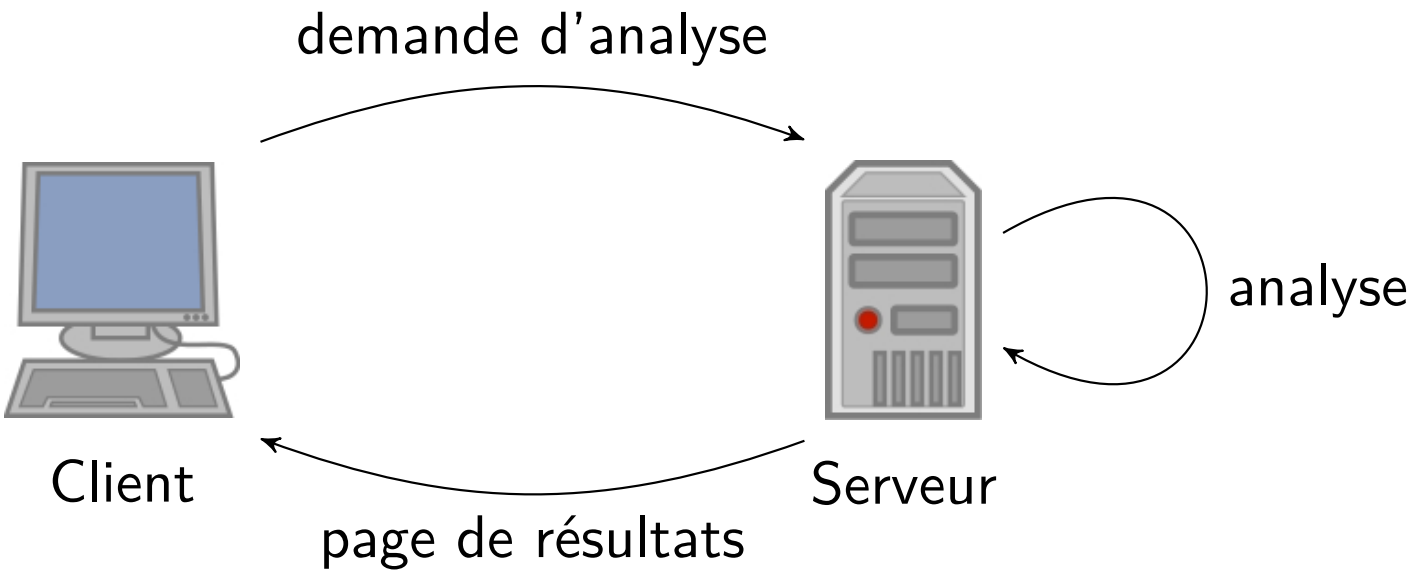
Alternatives

- CyaSSL ;
- GnuTLS ;
- MatrixSSL ;
- Network Security Services (Firefox) ;
- PolarSSL (pas de support du DTLS) ;
- Java Secure Socket Extension (pas de support du DTLS).

Attention – 25 février 2014

CVE-2014-1959 dans GnuTLS : validation de certificat (X509 version 1) intermédiaire comme un certificat d'AC par défaut.

Faiblesses identifiées I



Faiblesses identifiées II

Critères

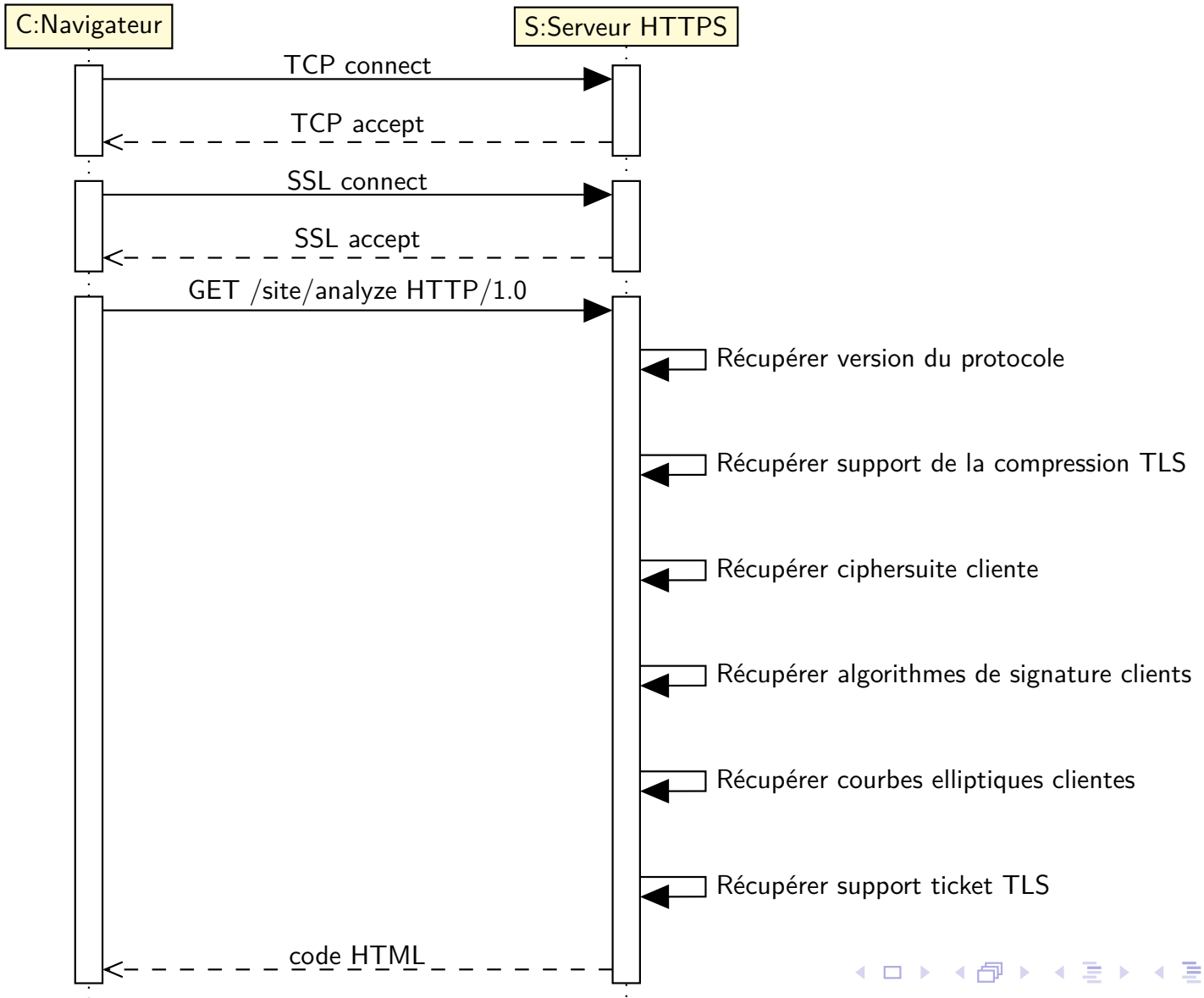
- version du protocole ;
- *ciphersuites* proposées par le client ;
- courbes elliptiques supportées ;
- algorithmes de signature ;
- compression TLS ;
- activation ou non du ticket de session.

Implémentation I

Architectures possibles

1. journalisation de la connexion HTTPS avec une sonde IDS puis récupération des informations avec un langage tel que PHP $\rightarrow$ couche réseau ;
2. serveur HTTPS avec *libssl* puis analyse de la structure de la session $\rightarrow$ couche applicative.

Implémentation II



Qualys SSL Labs

Description

- Qualys est une plateforme multi-sécurité :
- Le projet SSL Labs permet de :
  - tester l'implémentation SSL du navigateur ;
  - tester la configuration et les certificats d'un serveur ;
  - lister les bonnes pratiques sur les déploiements SSL/TLS.

Qualys SSL Labs

Analyse des serveurs

L'analyse porte sur les points suivants :

- contrôle du certificat ;
- protocoles supportés ;
- échange des clés ;
- qualité de chiffrement ;
- système de notation.

Tests sur un certificat vulnérable

SSL Report : `spXXXX.XXXX.net` (`85.XXX.XXX.33`)

- Notation : F
- Certificat non sûr → Non-confiance dans la chaîne de certification
- Sensible à une attaque de type CRIME
- Protocoles obsolètes → TLS_RSA_EXPORT_WITH_RC4_40_MD5
- Taille de clé insuffisante → RSA 1024 bits
- Re-négociation sécurisée non supportée.
- Compression TLS non-securisée
- Généré en Janvier 2014 - Expire en Janvier 2038

Démonstration

Analyse de la sécurité des navigateurs clients

- Sous le navigateur graphique `Chrome` : le plus utilisé dans le monde.
- Sous le navigateur console `lynx` : apprécié chez les développeurs.

Modification manuelle

Nous pouvons modifier la *ciphersuite* du client avec la commande `s_client`.

Conclusion

Bilan du projet

- mise en évidence des clefs faibles ;
- évaluation du code OpenSSL.

Apports du projet

- recherche approfondie de normes ;
- riche en développement et en recherche.

Questions ?