Soutenance projet annuel - Audit des implantations SSL/TLS

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

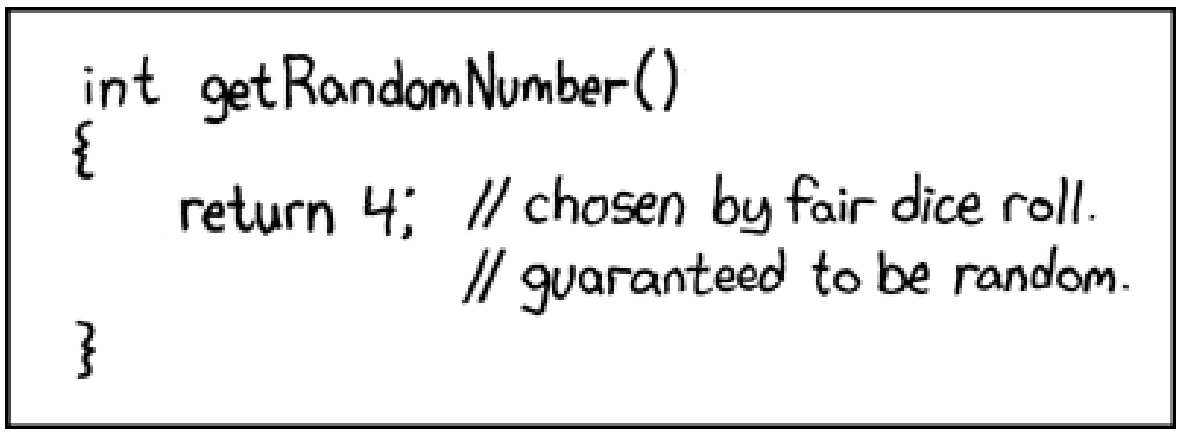
Master 2 Sécurité des Systèmes Informatiques

28/02/2014

Sujet et problématique

Les clefs qui rôdent sur internet

- clefs SSH (Port 22), SSL/TLS (Port 443)
- taille des clefs + génération aléatoire



Sommaire

Récupération des adresses

ZMAP

- open source ;
- outil de scan réseau ;
- adresses IPv4 ;
- paquets SYN sur le port 443.

Récupération des certificats I

Application Récupération de Certificats

- script perl ;
- certificats SSL ;
- stocker l'ensemble des empreintes dans un dossier :
  - certificats ;
  - clefs de session.

Récupération des certificats II

Algorithme

Entrées: Fichier f, contenant les adresses ayant le port 443 ouvert
Sorties: Certificats et clef de session des adresses
Données: log, certificat, clef de session
pour tous les *adresses de f* **faire**
    Se connecter au serveur;
    si *echec* **alors**
        si *le log contient protocol* **alors**
            on incrémente le nombre d'échecs de protocoles;
        fin
        si *le log contient handshake* **alors**
            on incrémente le nombre d'échecs de poignées de mains;
        fin
    sinon
        On capture la session (dont le certificat serveur);
        si *!echec de capture de session* **alors**
            on extrait le certificat et la clef de session;
        fin
    fin
fin
retourner *certificats et clés de session*

Certificats récupérés

Failles

- pas de Comon Name ;
- que le Serial Number.

Gestion des doublons I

Gestion des doublons

- script perl ;
- si une empreinte de trouve déjà dans le dossier : on la stocke dans un autre dossier, celui des doublons ;
- liens symboliques.

Gestion des doublons II

Algorithme gestion des doublons

Entrées: Pré-requis : Exécution de l'algorithme ssl_collector
Création d'un dossier D contenant les certificats à traiter
Sorties: Dossiers : certs_doublons, certs_links ; Fichier : moduli
Données: Certificats C ; Fingerprint F ; Chaîne de caractères S ; Modulo M

```
certs_doublons ← dossier_vide;
certs_links ← dossier_vide;
moduli ← fichier_vide;
pour tous les C ∈ D faire
    F ← fingerprint(C);
    S ← nom_fichier(C);
    M ← modulo(C);
    si échec(F) alors
        continue;
    fin
    si F ∈ certs_links alors
        certs_doublons/F ← concat(certs_doublons/F, S);
    sinon
        moduli ← concat(moduli, M);
        certs_links ← F;
    fin
fin
```

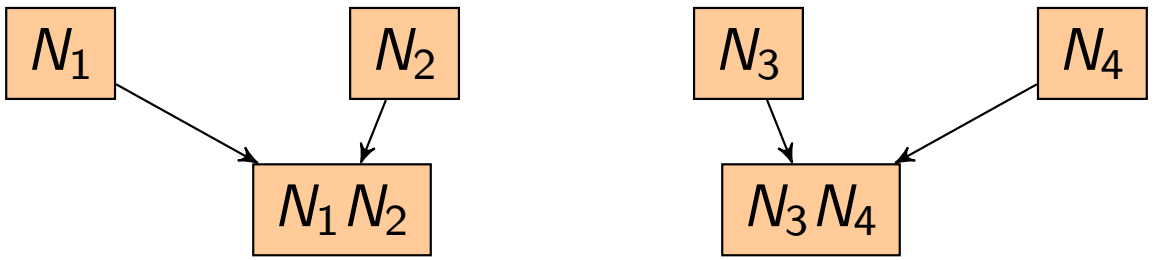
Factorisation

PGCD deux à deux

N_1 N_2 N_3 N_4

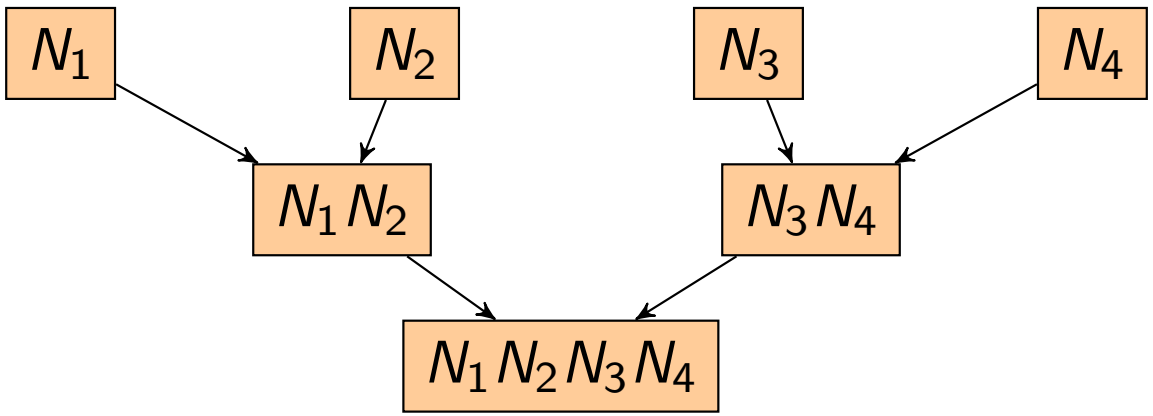
Factorisation

PGCD deux à deux



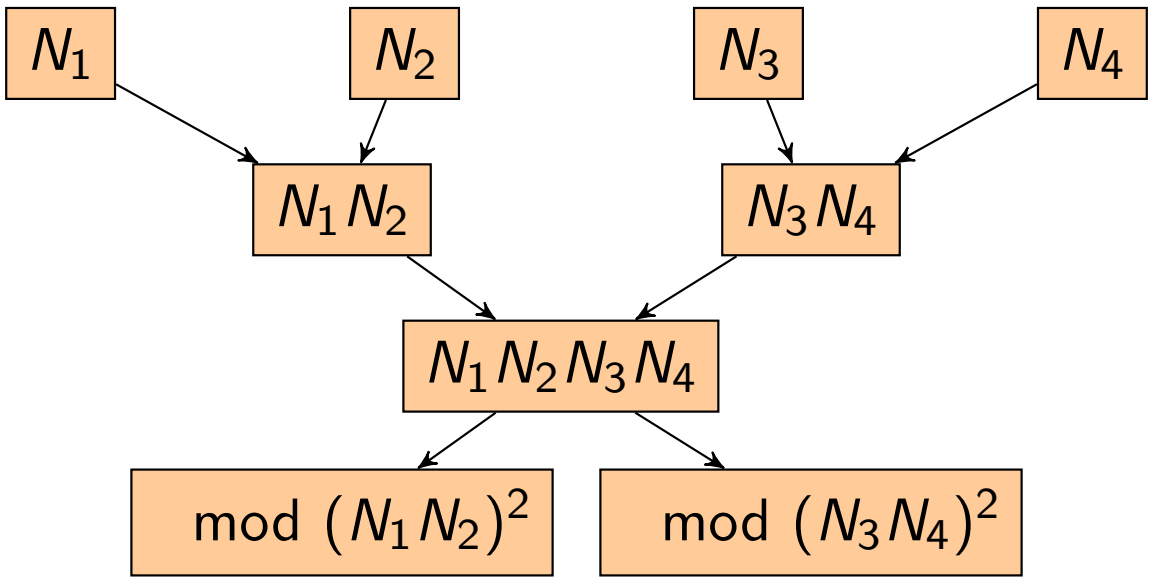
Factorisation

PGCD deux à deux



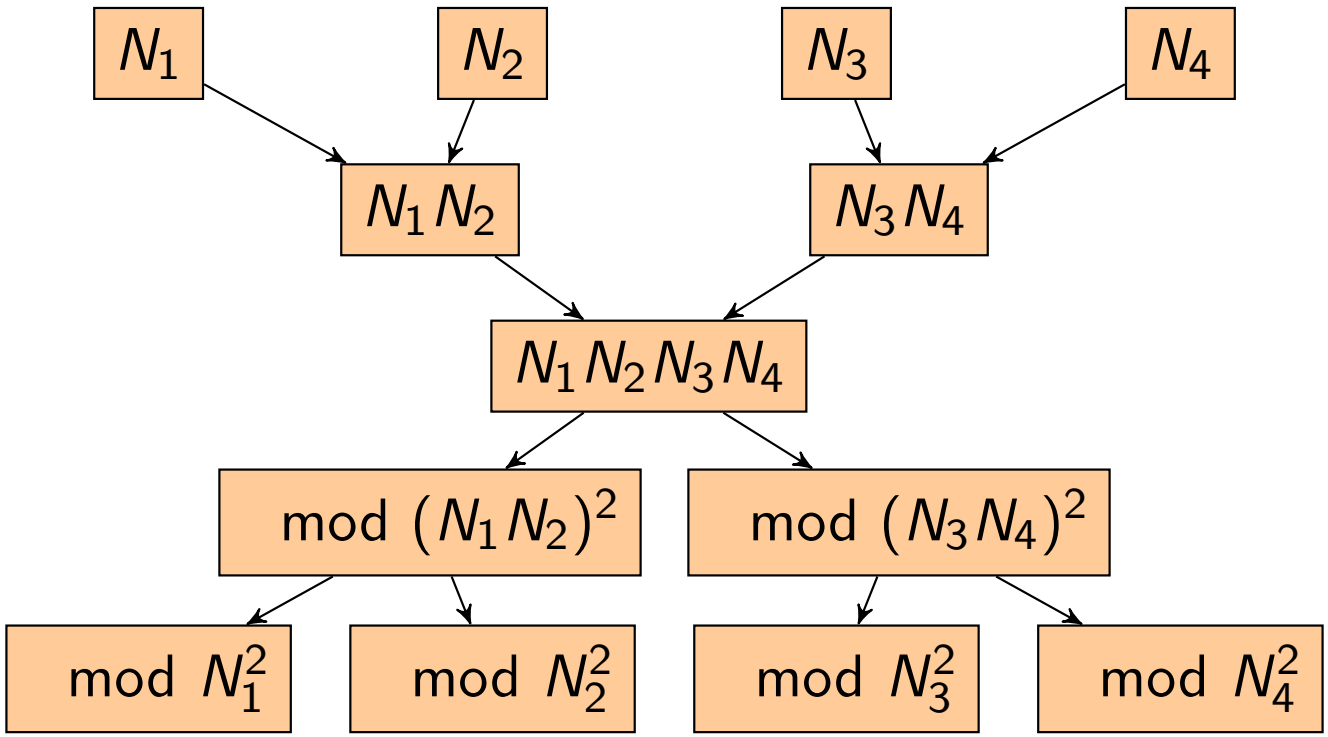
Factorisation

PGCD deux à deux



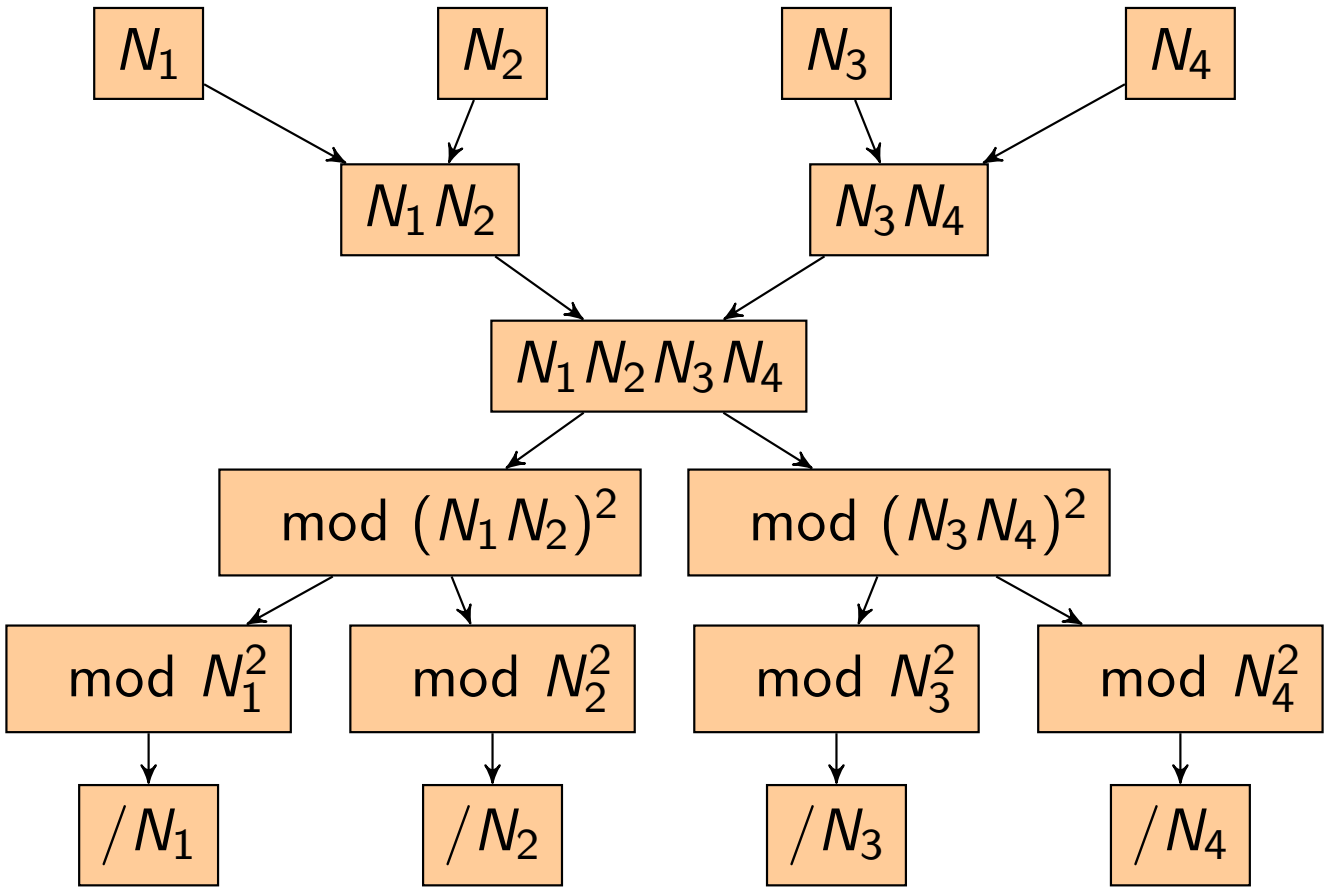
Factorisation

PGCD deux à deux



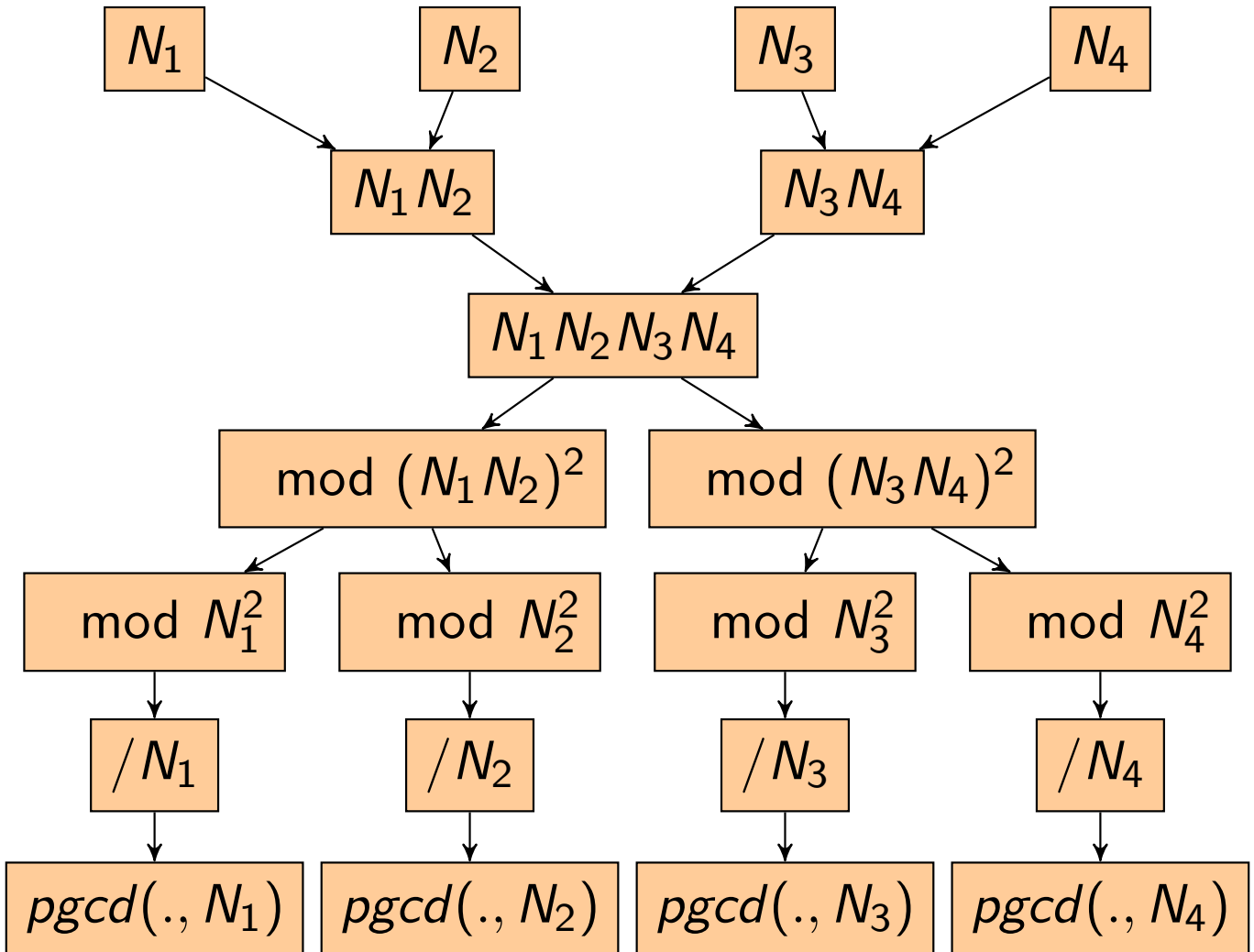
Factorisation

PGCD deux à deux



Factorisation

PGCD deux à deux

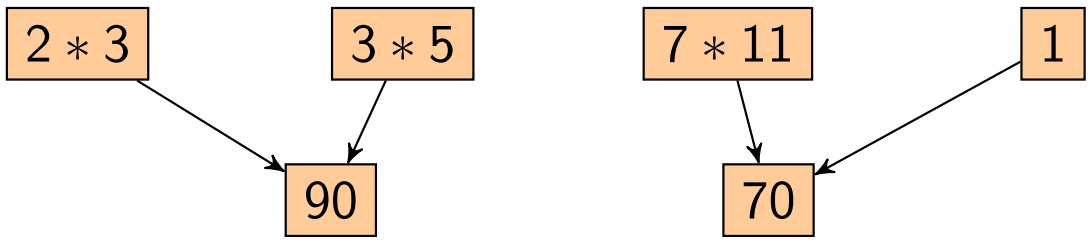


Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes

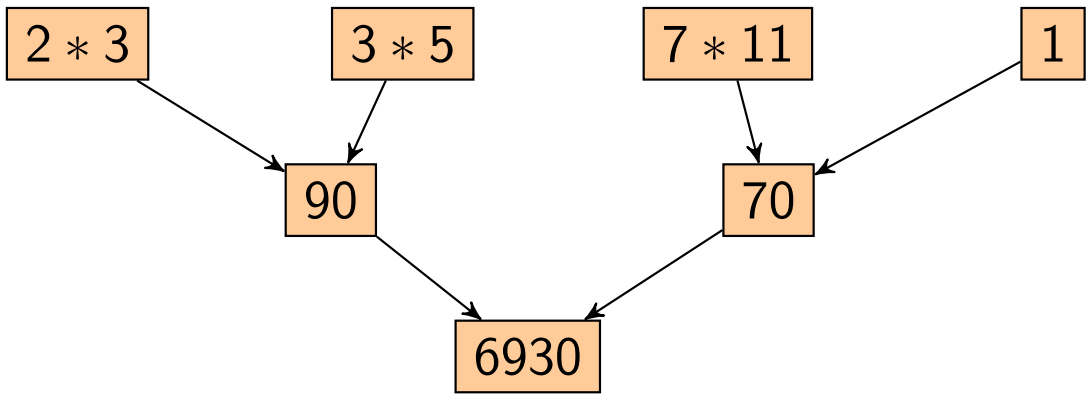
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



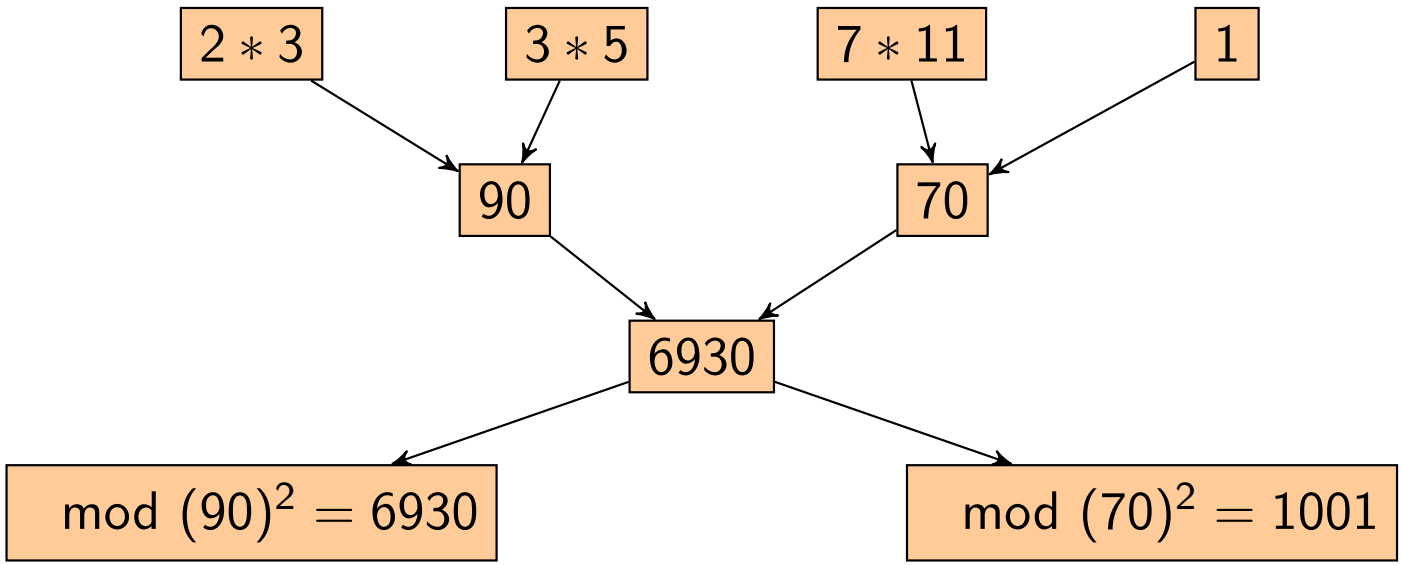
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



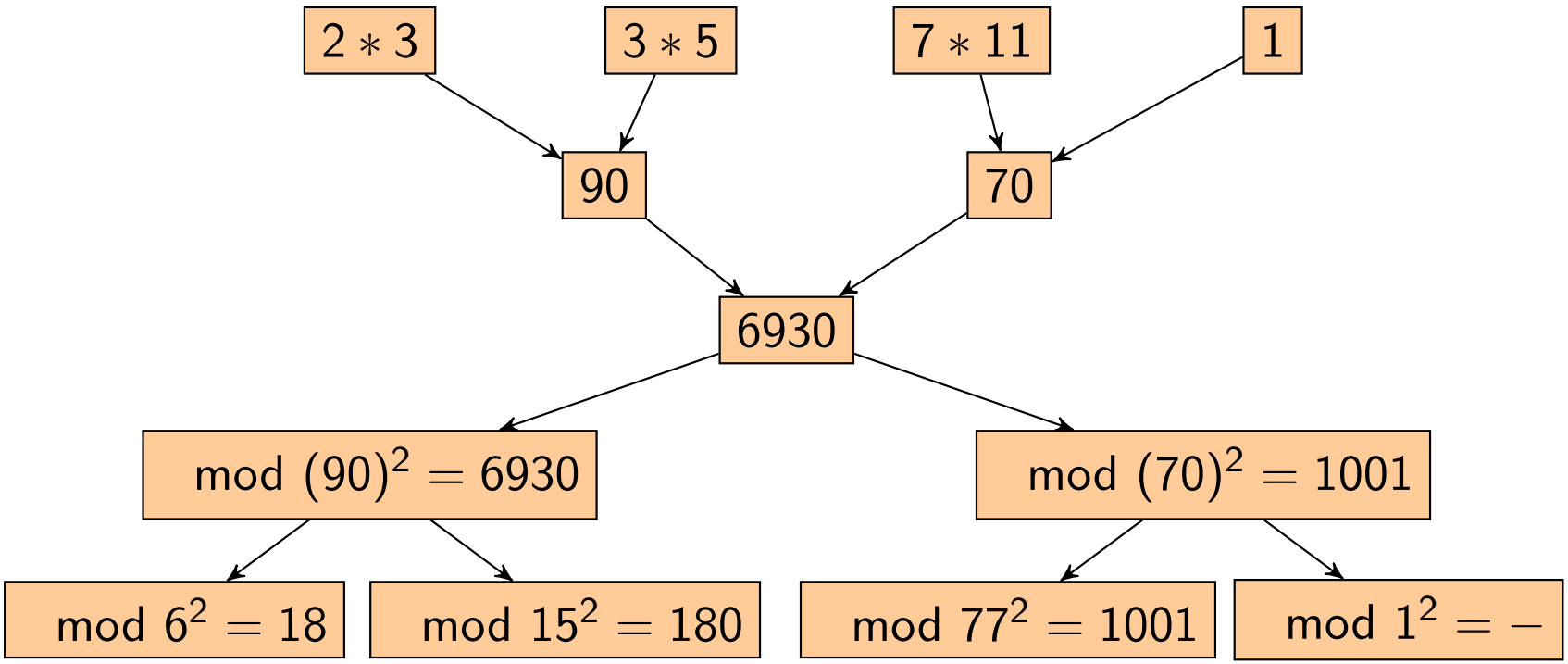
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



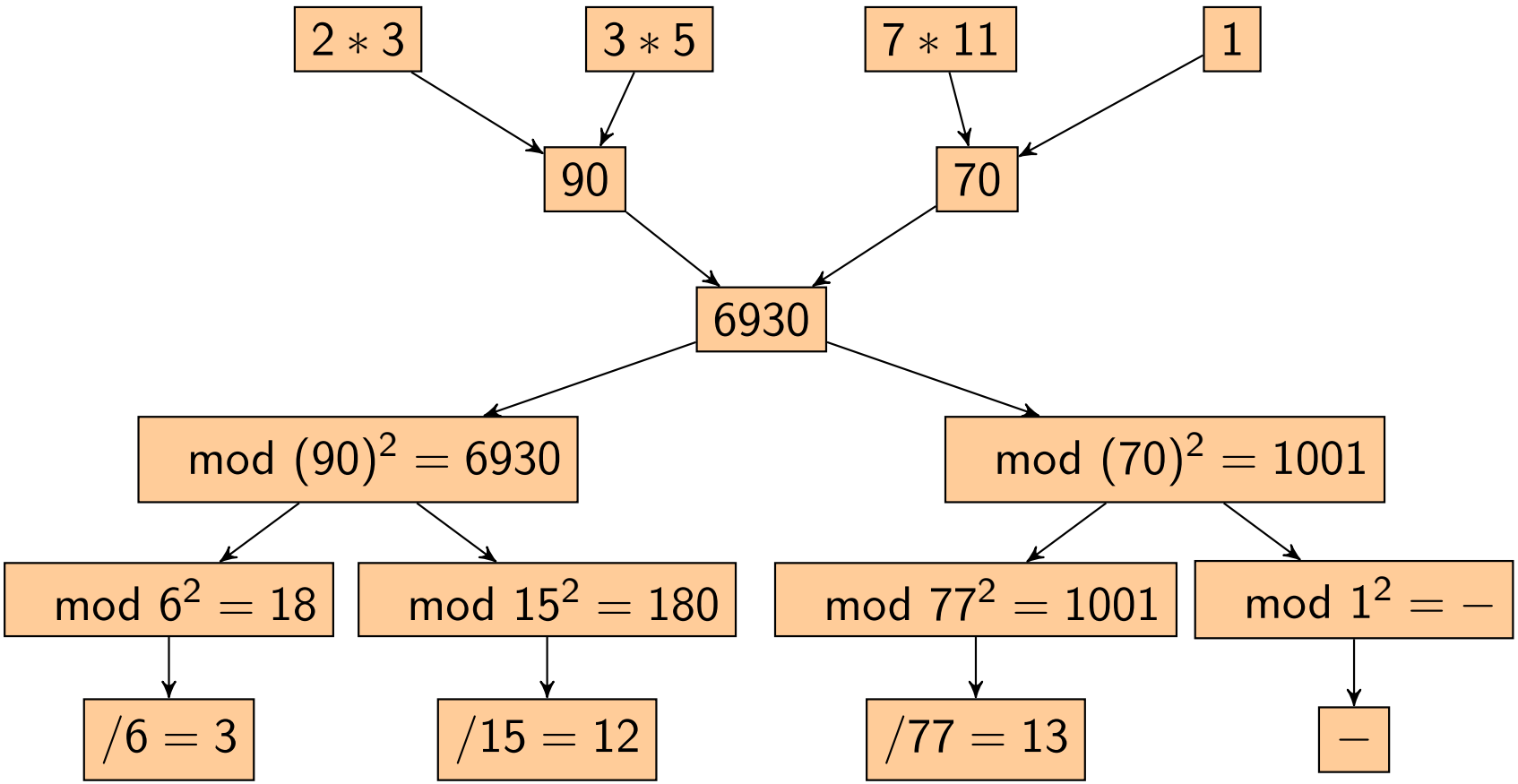
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



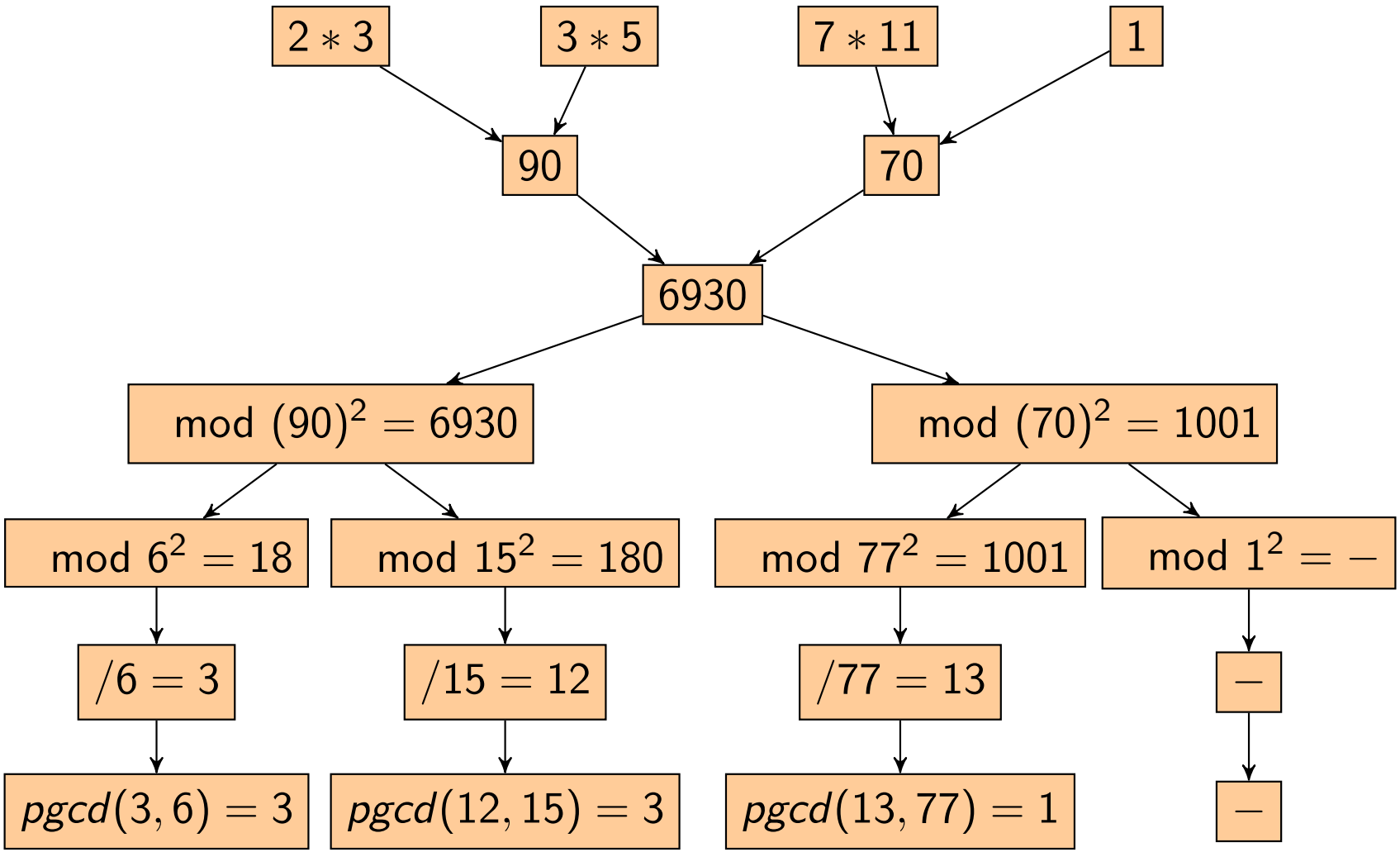
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



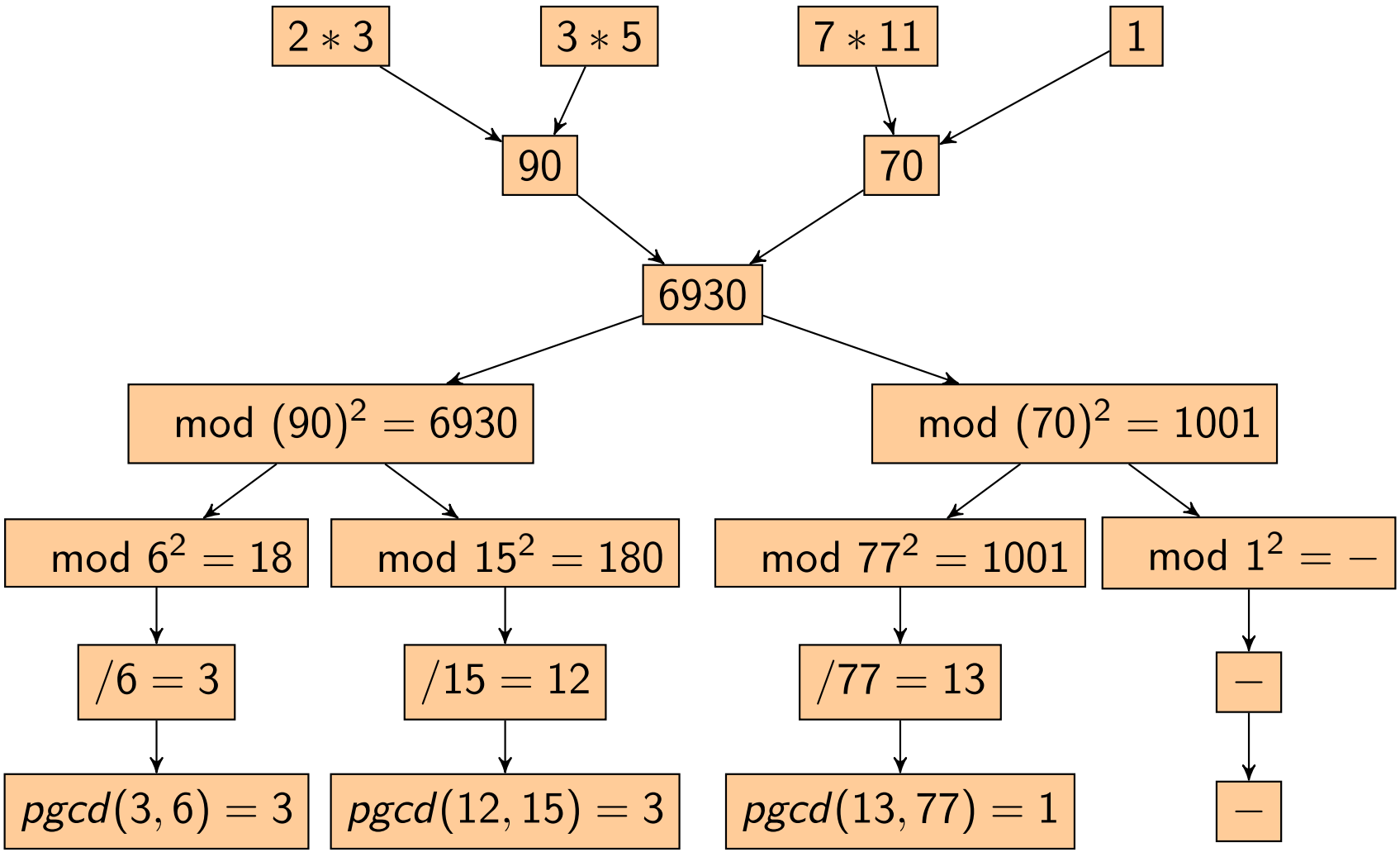
Factorisation

Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



Factorisation

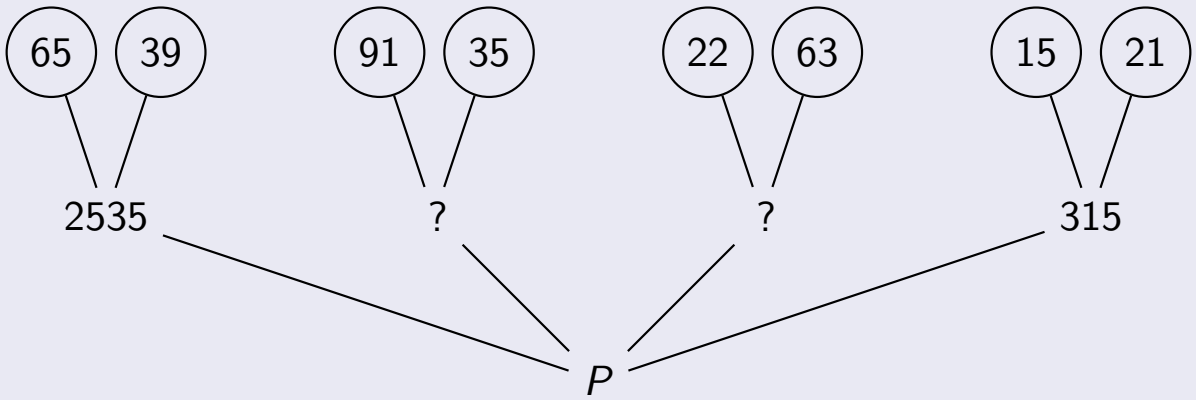
Algorithmes associés : Arbre des produits, Arbre des restes



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

Résultats

Base de donnée

- Récupération des facteurs communs - clefs publique
- Scripts perl + requêtes SQL

Statistiques

- Les émetteurs
- Outil de recherche
  - taille de clef : 99.6% (R) - 0.4% (V)
  - émetteurs, sujet : CISCO - 6280 (R) - 40 (V)

Introduction

Contexte

- récent scandal sur la NSA ;
- beaucoup d'outils utilisés.

Mais à qui peut-on faire confiance ?

Audit d'OpenSSL

Cinq grands axes :

- l'entropie ;
- la génération des clefs ;
- le chiffrement et les protocoles ;
- les signatures et les authentifications ;
- les protocoles SSL et TLS.

Failles

Où ?

- site des CVE ;
- site de Vigil@nce ;
- RFC.

Quand ?

- année passée ;
- failles plus anciennes.

Corrections ?

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

OpenSSL

Observation

- lisibilité du code ;

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

- documentation ;
- commentaires.

Quand ?

- année passée ;
- failles plus anciennes.

Corrections ?

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

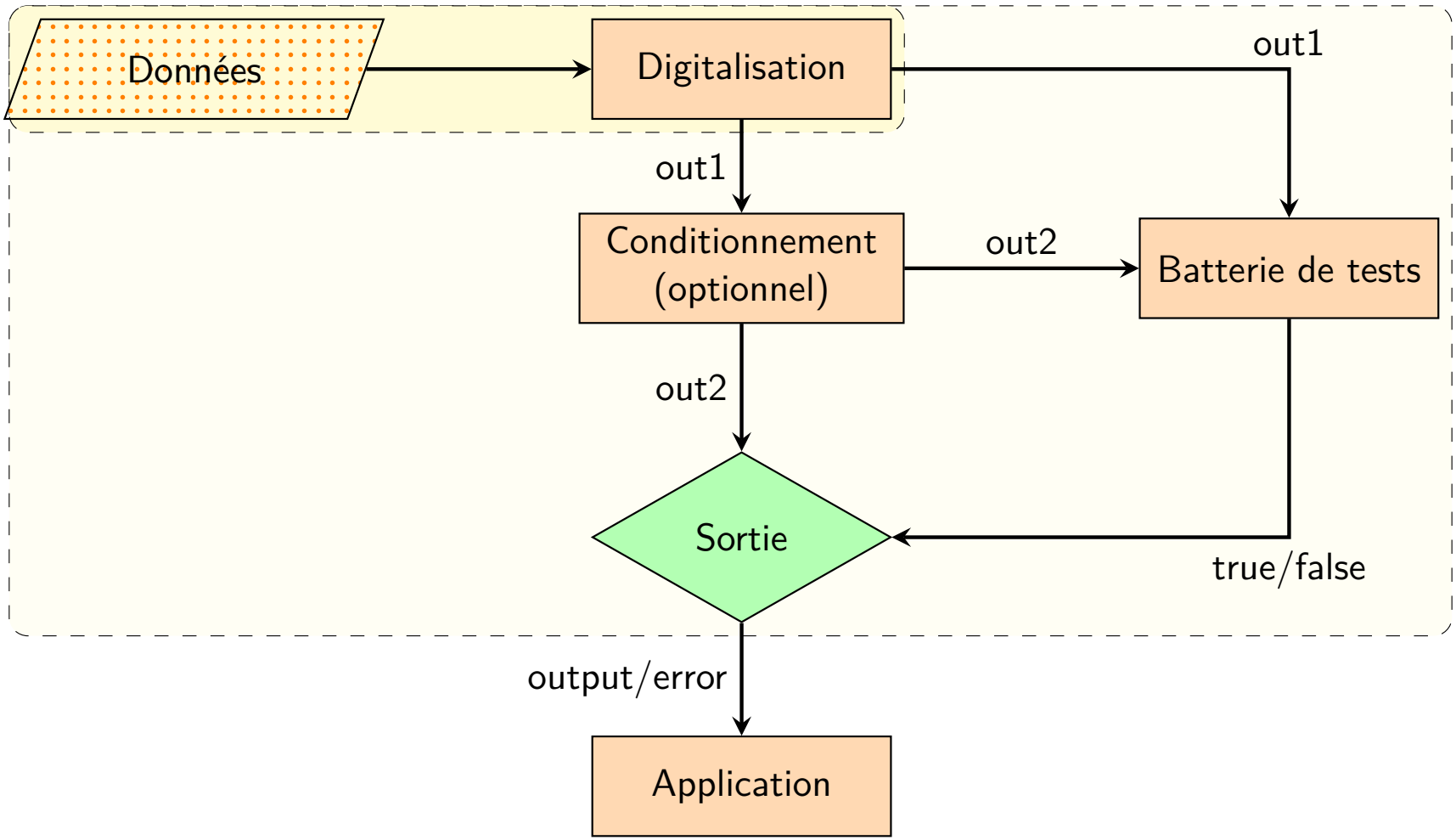
Générateur aléatoire

Définitions

Générateur

- problème aléatoire ;
- mesure de l'entropie
  $H(X) = -\sum_x P(X = x) * \log_2(P(X = x))$;
- entropie et moduli.

Entropie


Données
Digitalisation
out1
out1
Conditionnement
(optionnel)
out2
Batterie de tests
out2
Sortie
true/false
output/error
Application

Entropie

Tests

- Tests trop anciens, `FIPS1` (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** : Entre 2020 et 2030.

Génération des clefs

Principes de Kerchkoff

- Le *secret* réside dans la clef ;
- Les algorithmes de génération de clés ne doivent donner aucune information sur la clé.

Deux grands types de générateur de clés

- Générateurs de bits aléatoires (RGB) pour les clés privées de certains algorithmes (i.e. AES, DSA) ou pour le salage (i.e. *seed* de RSA)
- Générateurs de clefs asymétriques, qui utilisent des fonctions à sens uniques, largement diffusées et ne devant délivrer aucune information sur le secret.

Chiffrement et protocoles I

RSA-OAEP

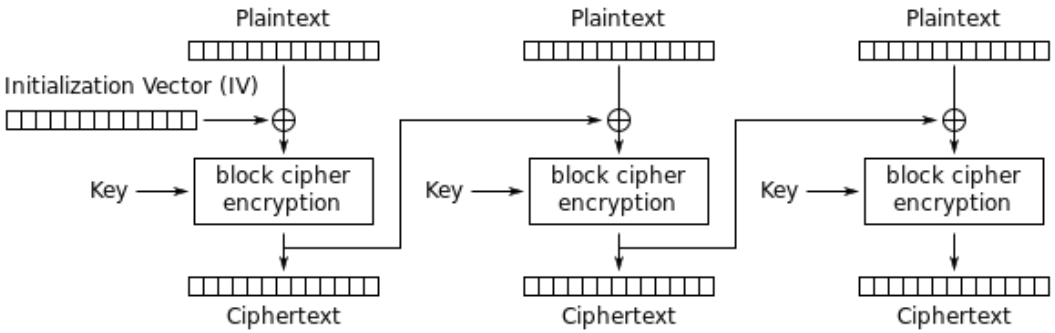
laïus RSA-OAEP (fonctionnement, +, -)

Manger's attack

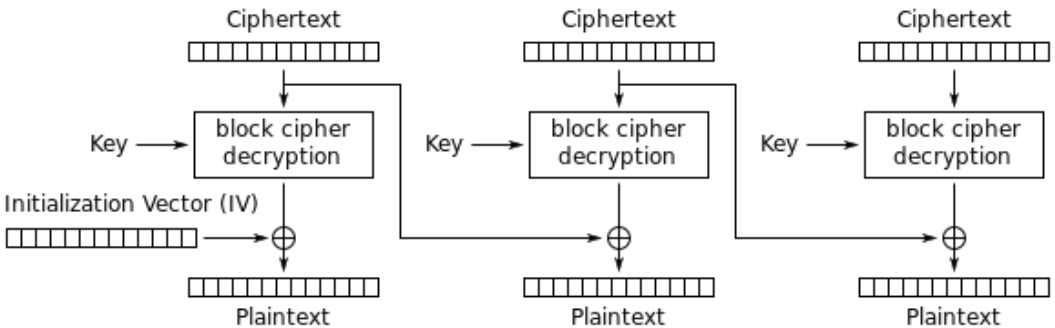
- OpenSSL 1.0.0 ;
- OAEP : défaillant ?
- contrôler la taille des paramètres à hacher ;
- sur serveur : variations de délais ;
- systèmes embarqués : plus problématique.

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 session ;
- problème d'IV.

Recommandations

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

Signature et authentification I

Définition

- Juridiquement, une signature électronique à 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 clé privée ayant servi à chiffrer.

Signature et authentification II

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

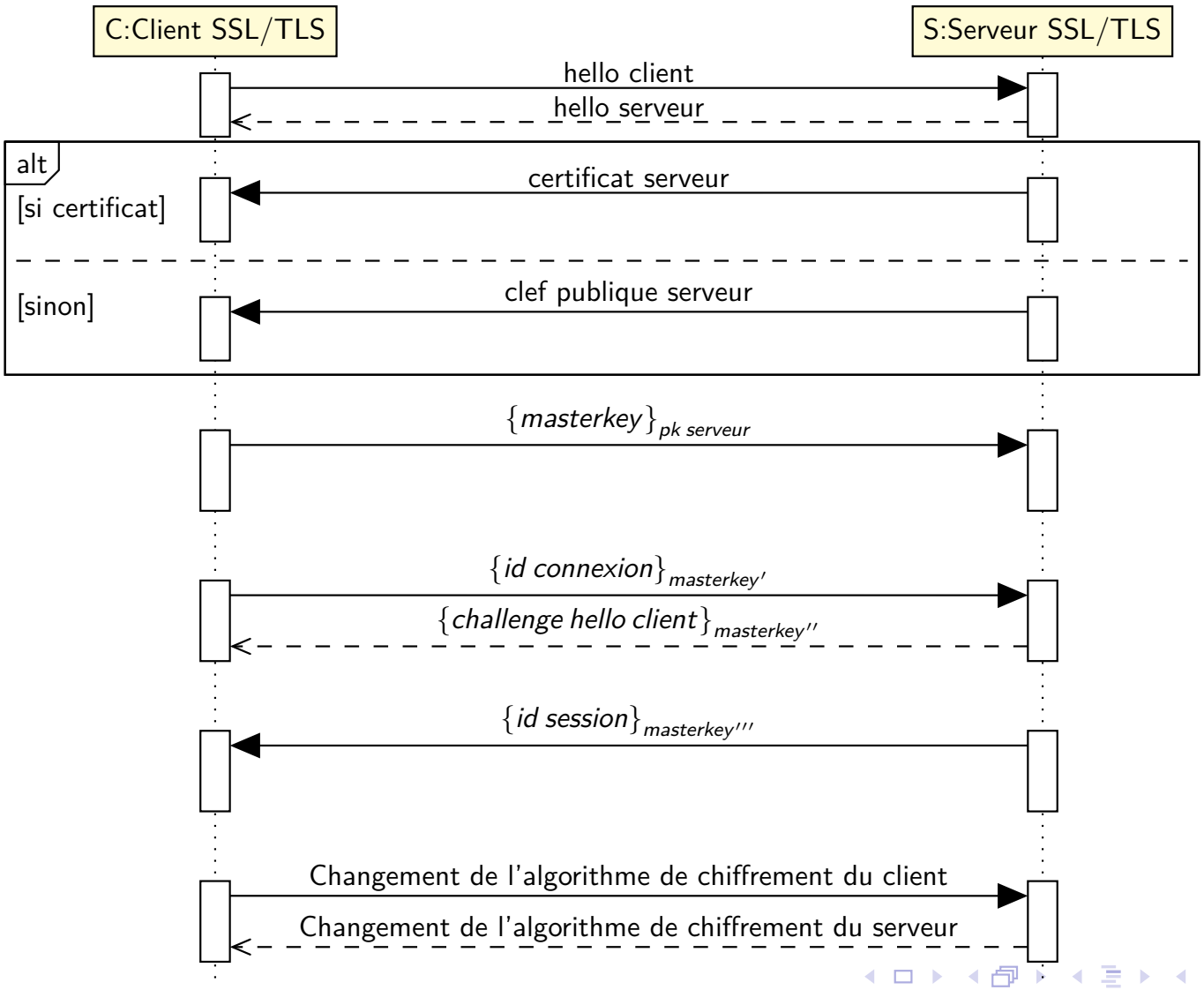
- **Description** : L'attaque se fait sur des morceaux de la signature récupéré afin de récupérer la clé privée bit à bit.
- **Comment ?** : Du bon matériel, surtout au niveau de la mémoire vive (i.e. Système Linux avec une architecture SPARC) et un oracle (e.g. système de prédictions) permettant de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

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 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 :** A moins que l'attaquant n'ai 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 réinialisée ;
- **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

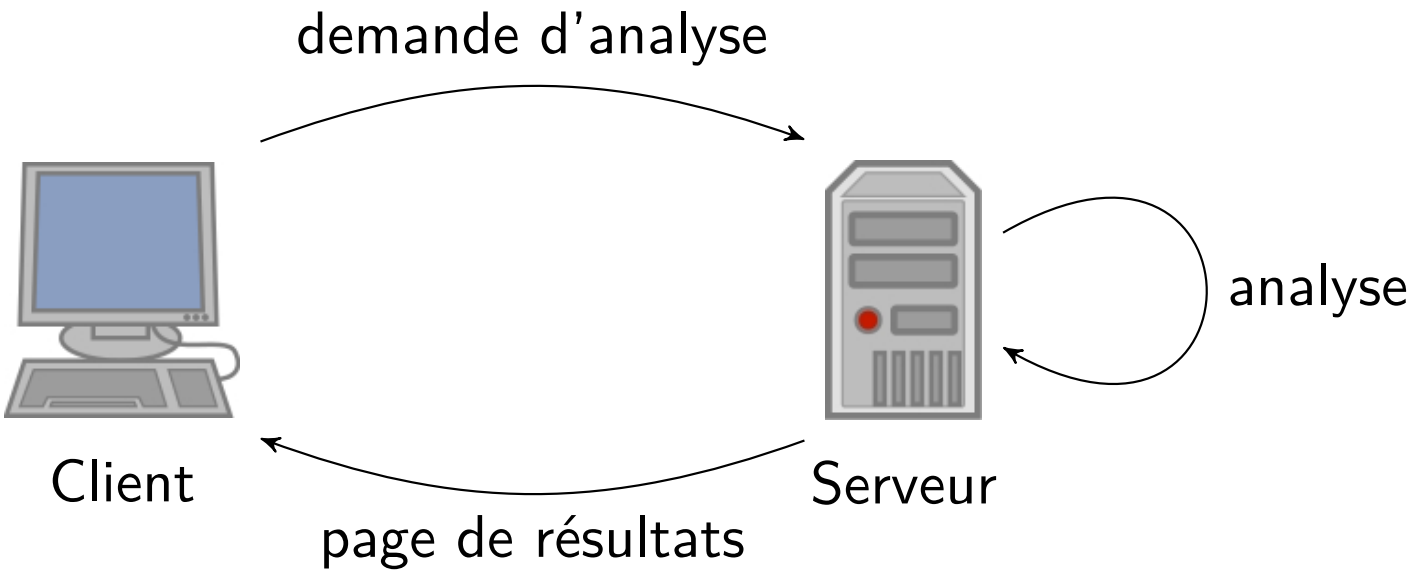
CVE-2014-1959 dans GnuTLS : validation de certificat (X509 version 1) intermédiaires comme un certificat d'AC par défaut.

Faiblesses identifiées I

Critères

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

Faiblesses identifiées II

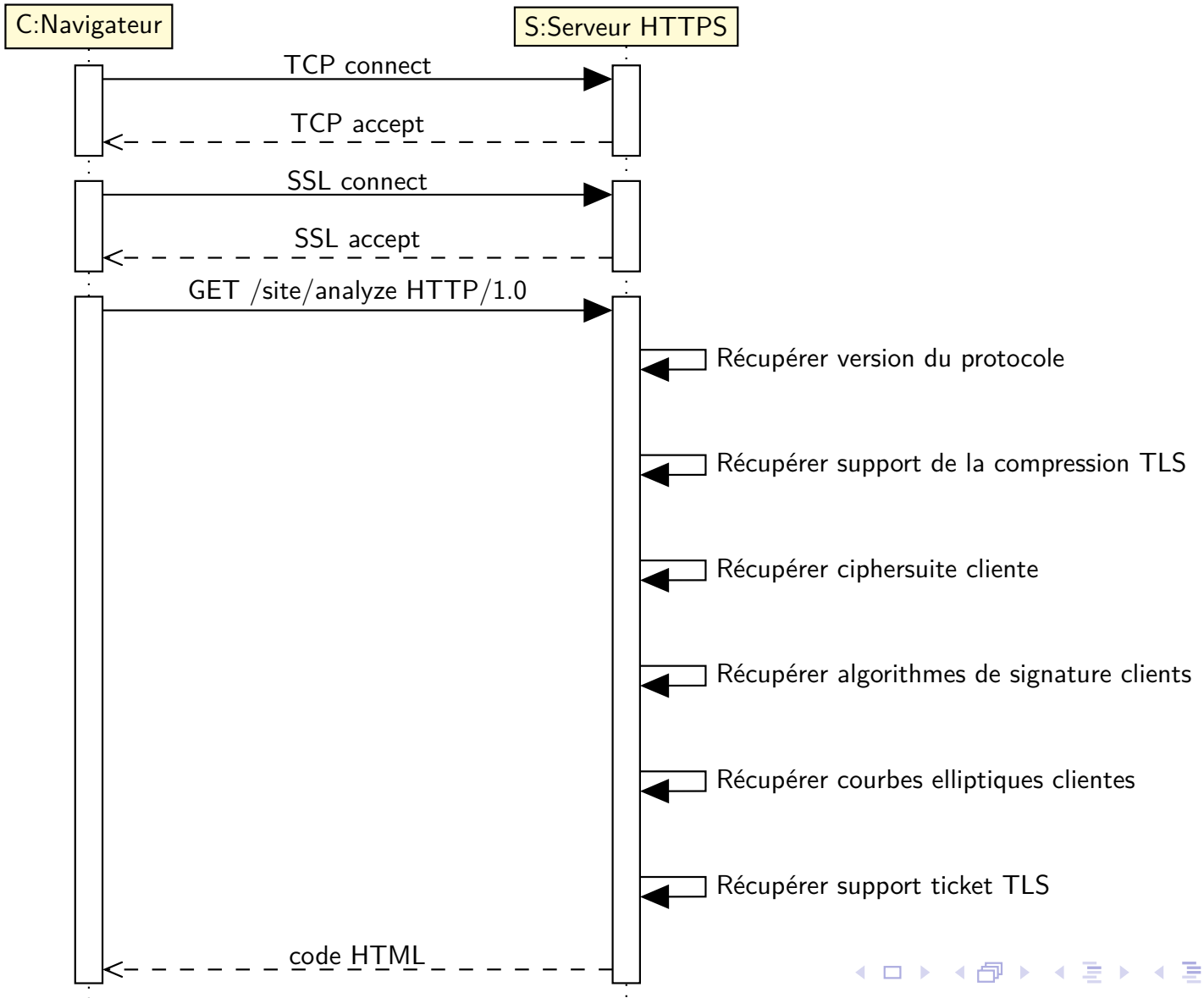


Implémentation I

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



Qualis SSL Labs

Description

Qualis est une plateforme multi-sécurité :

- Sécurité Réseau
- Sécurité Web
- etc

Le projet SSL Labs permet de :

- Tester l'implémentation SSL du navigateur.
- Tester la configuration et les certificats d'un serveur.
- Tester la configuration et les certificats d'un serveur.
- Lister les bonnes pratiques sur les déploiements SSL/TLS.

Analyse des serveurs

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

- Mise en évidence des clefs faibles
- Évolution du code OpenSSL