UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

La sécurité des communications

- Objectifs
- Mécanismes et chiffrements
- Signature électronique
- Exemple de mise en œuvre
  - La Messagerie Sécurisée

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Objectifs

Avec les techniques de cryptographie, on souhaite atteindre différents objectifs :

1. **Confidentialité**

   → Données exploitables par les personnes autorisées seulement

   On doit pouvoir assurer qu'une personne non autorisée ne pourra avoir accès aux données

2. **Intégrité**

   → Non-altération des données transmises

   On doit pouvoir assurer que les données reçues n'ont pas été modifiées en cours de transmission

Objectifs (suite)

3. Authentification

→ Identité garantie de l'entité

On doit pouvoir assurer que l'entité authentifiée (personne, application ou équipement) est bien celle qu'elle prétend être

4. Non répudiation

→ Preuve que les données ont bien été émises

On doit pouvoir confirmer que les données ont bien été transmises par cet émetteur qui ne pourra le nier

5. Autorisation

→ Droits d'accès pour un utilisateur

On doit pouvoir vérifier l'authenticité du privilège de l'utilisateur

Mécanismes de la sécurité

Afin d'atteindre les objectifs précédents, on met en œuvre les mécanismes et techniques suivants

- **Hachage**
- **Chiffrement symétrique**
- **Chiffrement asymétrique**
- **Certificats X509v3**
- **ICP Infrastructure à Clé Publique ou PKI**

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Hachage, résumé ou condensé

- Pour condenser ou résumer un document de longueur quelconque en une suite de caractères de longueur fixe
- **Propriétés :**
  - **Irréversibilité, injective**
  - **Vérification d'intégrité**
- **Algorithmes performants**
- **Les algorithmes**
  - **MD5 (Message Digest 5)** ***MIT***
    - → 128 bits
  - **SHA-1** ***(Secure Hash Alg.) NIST***
    - → 160 bits
  - **MAC** ***(Message Authentication Code)***
    - Condensé avec clé secrète

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Chiffrement symétrique

- **Méthodes de chiffrement à clé secrète**
  - **Algorithmes**
    - **DES (Data Encryption Standard)** IBM 1968 *56 bits*
    - **3-DES Triple DES** *112 bits*
    - **RC4, RC5 (Rivest Code)** ***128..256 bits***
    - **AES Advanced Encryption System** *Rijndael (B) 2000*
      Clés de 128, 192 ou 256 bits

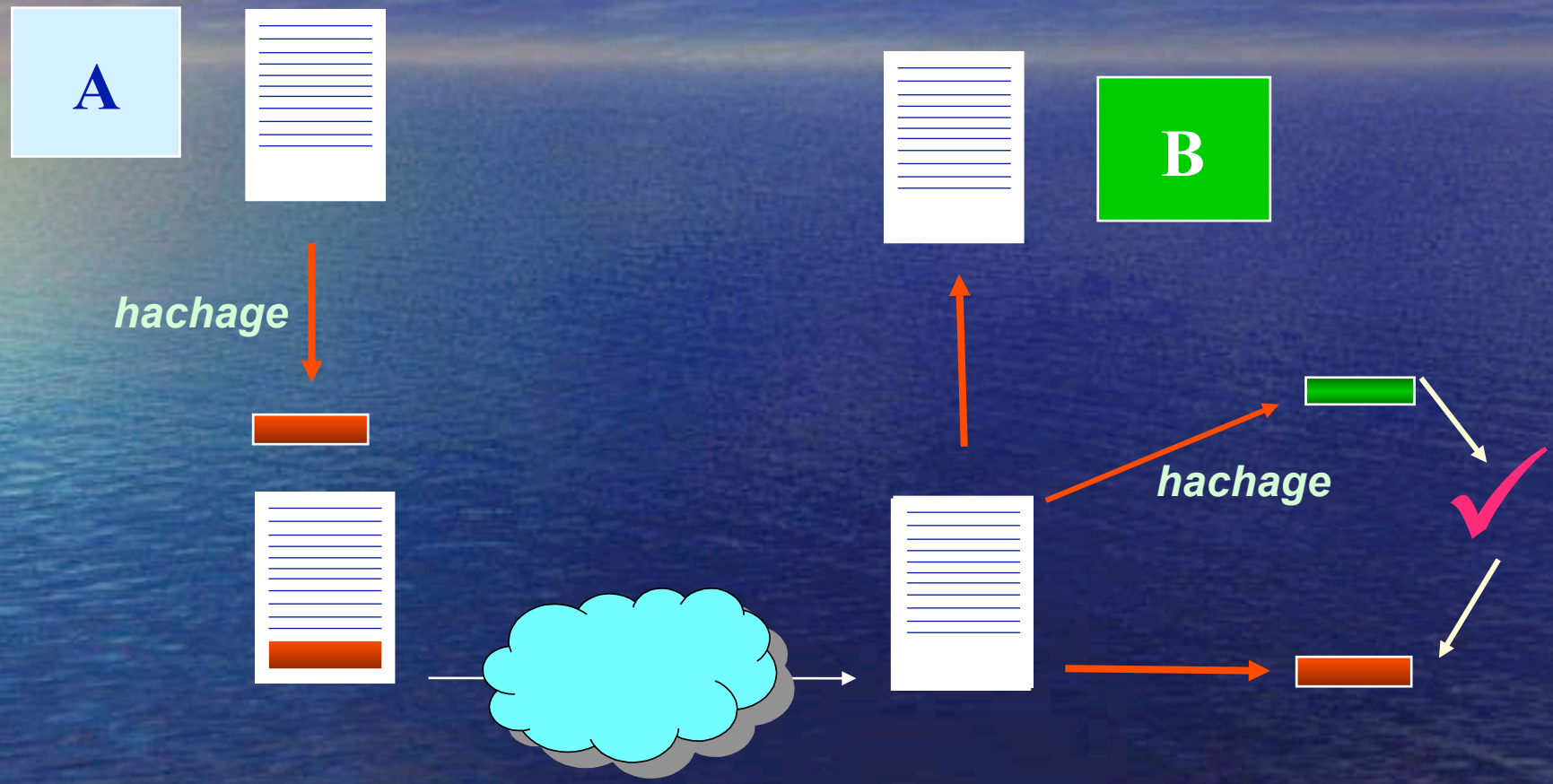
\+ **Opérations simples performantes et rapides**

\- **Administration des clés : Génération, Distribution, Partage et Stockage**

Chiffrement asymétrique

- **Association d'une bi-clé : clé publique et clé privée**
  - Algorithmes
    - **DH (Diffie-Helman) (1975)**
      → clés de 512…2048 bits
    - **RSA (Rivest, Shamir, Adleman) 1977**
      → clés de 512…2048 bits
    - **ECC Eliptic Curve Crypto**
      → clés de 57 … 237 bits

2. Intégrité



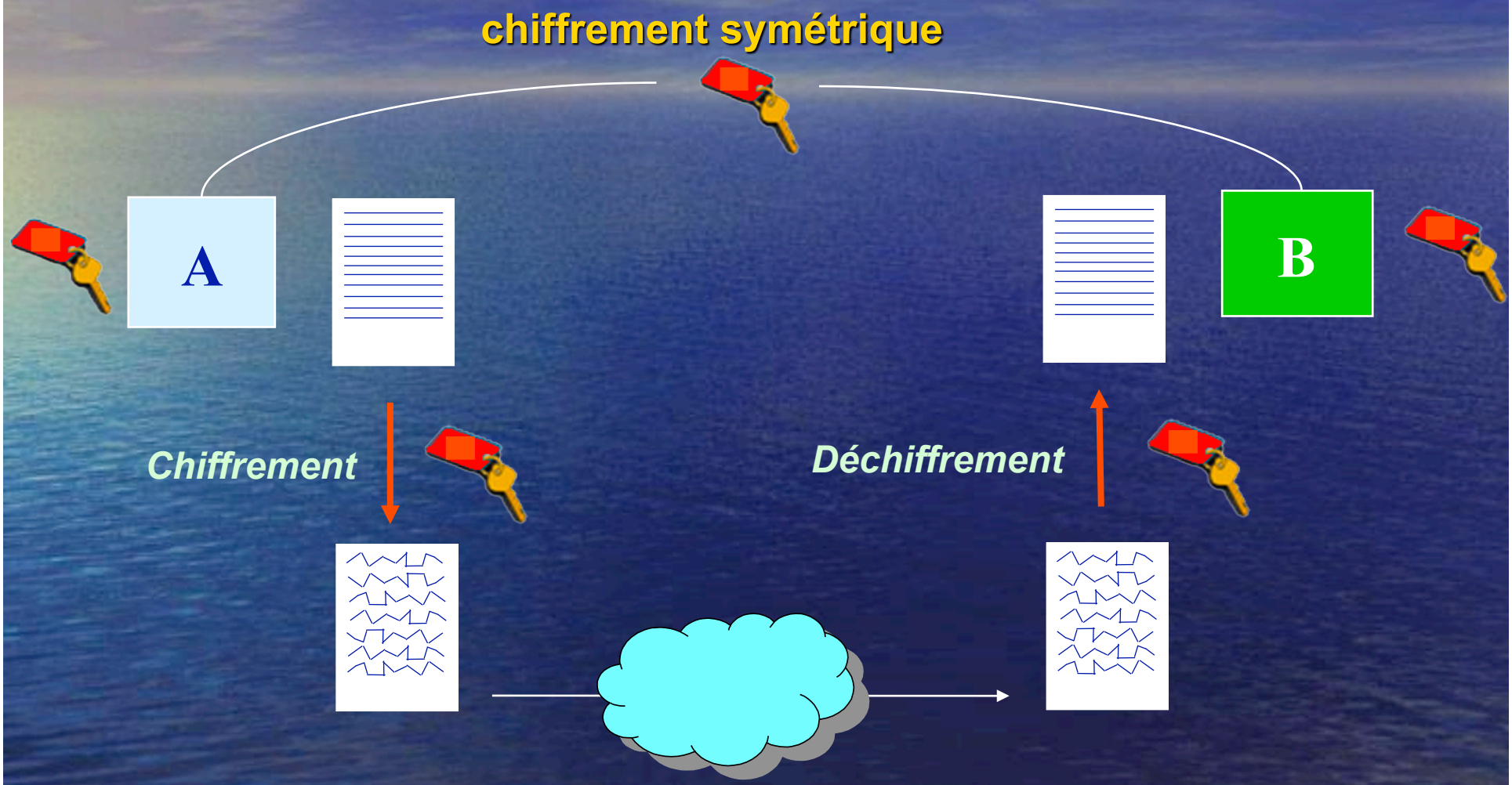
2. Intégrité

- B reçoit un document de A et veut vérifier l'intégrité du document
  - A condense le document
  - A émet le document et son condensé vers B
  - B extrait le condensé
  - B condense le document et compare le résultat avec celui obtenu

    → Si identique, le document est intègre (car une altération du document durant la transmission implique un condensé différent)

1 & 2. Confidentialité

et Intégrité



2. Confidentialité et Intégrité avec chiffrement symétrique

- A choisit une clé secrète
- A communique cette clé à B (échange complexe à sécuriser)
- A chiffre le document avec cette clé et le transmet dans le réseau
- À réception, B déchiffre le document avec la clé secrète

  → Sans la clé secrète, le document ne peut être exploité

Chiffrement asymétrique préambule

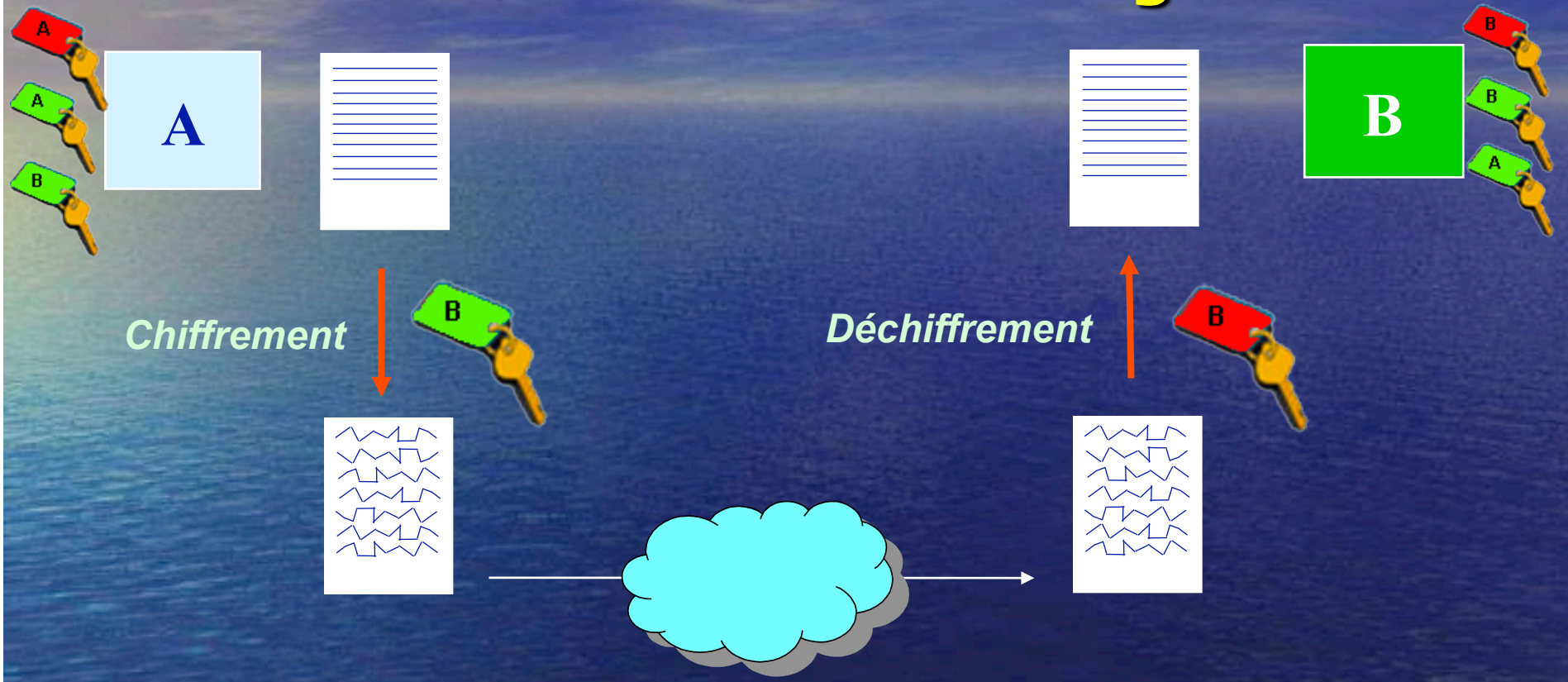
- A et B génèrent chacun une bi-clé
  - Clé publique (verte)
  - Clé privée (rouge)
- A transmet sa clé publique à B (pas de problème particulier de sécurité)
- B transmet sa clé publique à A (pas de problème particulier de sécurité)

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Chiffrement asymétrique
Échange des clés

- A possède A , A et B
- B possède B , B et A

1& 2. Confidentialité et Intégrité

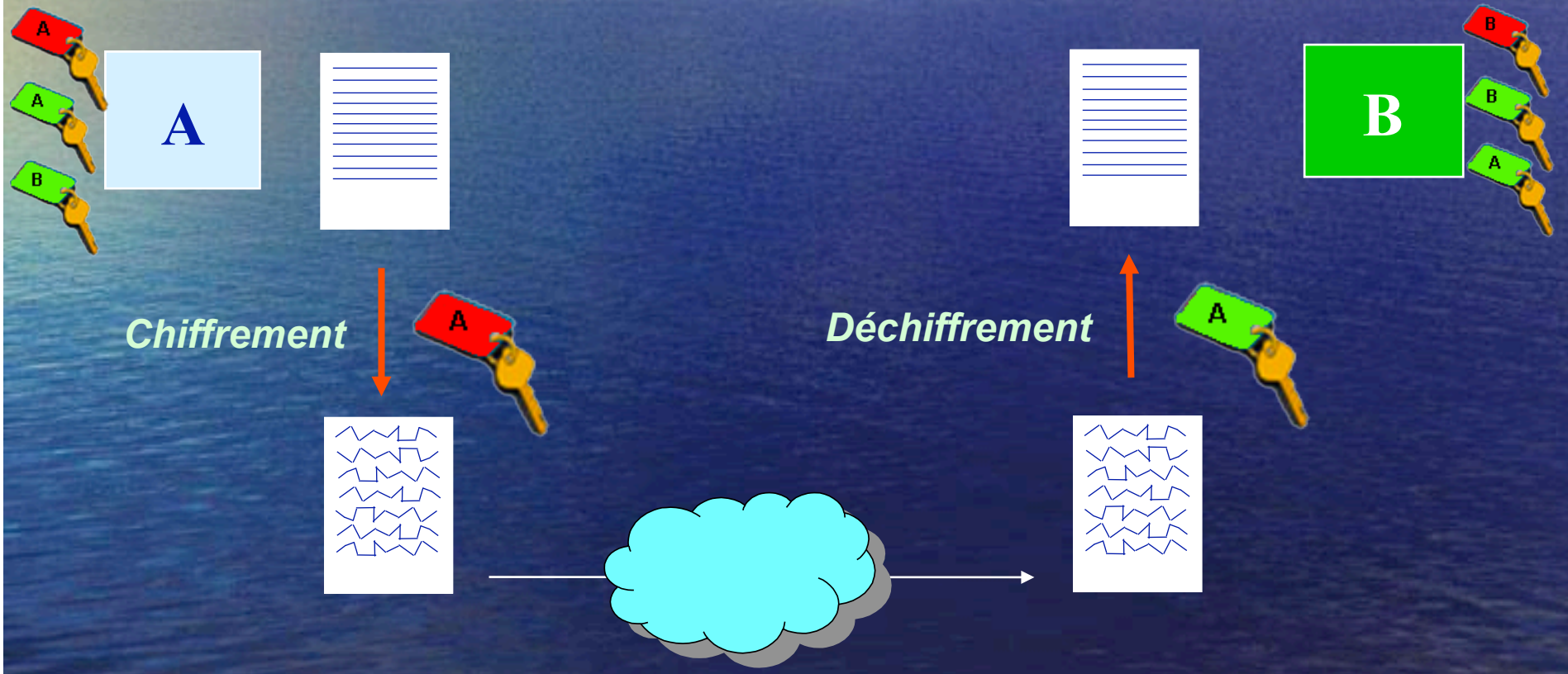


1& 2. Confidentialité et Intégrité

- A veut transmettre un document confidentiel à B
  - A chiffre le document avec la clé publique de B
  - A émet le document à destination de B
  - À réception, B déchiffre le document avec sa clé privée

    → Seul B peut exploiter le document ; sans la clé privée de B, le document ne peut être exploité

2 & 3 & 4. Authentification et non répudiation

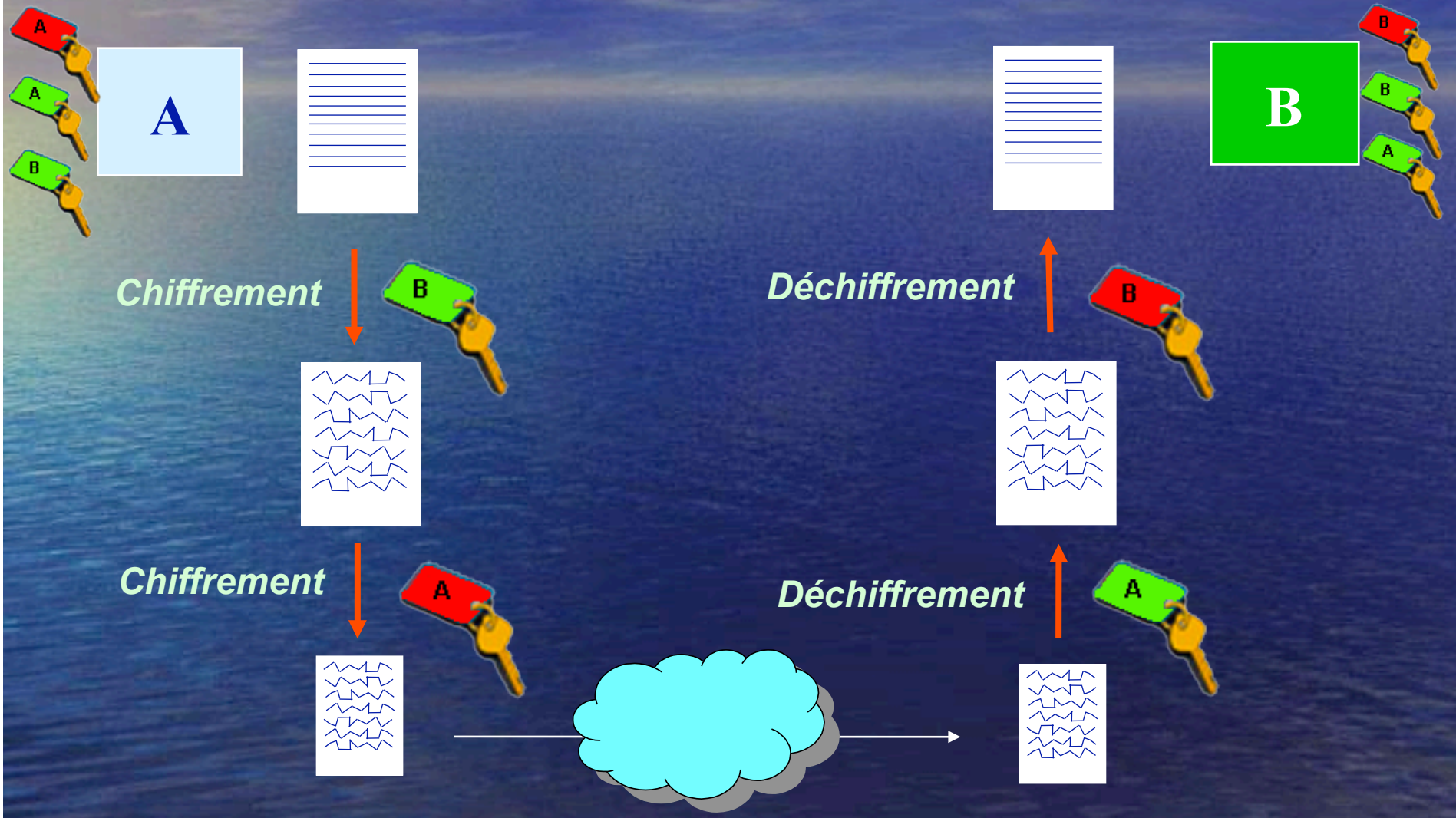


3 & 4. Authentification et non répudiation

- **A veut transmettre un document authentifié à B**
  - **A chiffre le document avec sa clé privée**
  - **A émet le document à destination de B**
  - **B déchiffre le document avec la clé publique de A** *(un tiers peut le faire également)*

    → Seul A a pu émettre ce document ; le document n'a pu être chiffré qu'avec la clé privée de A et de plus, A ne peut nier l'avoir émis

1 & 3 . Authentification et confidentialité

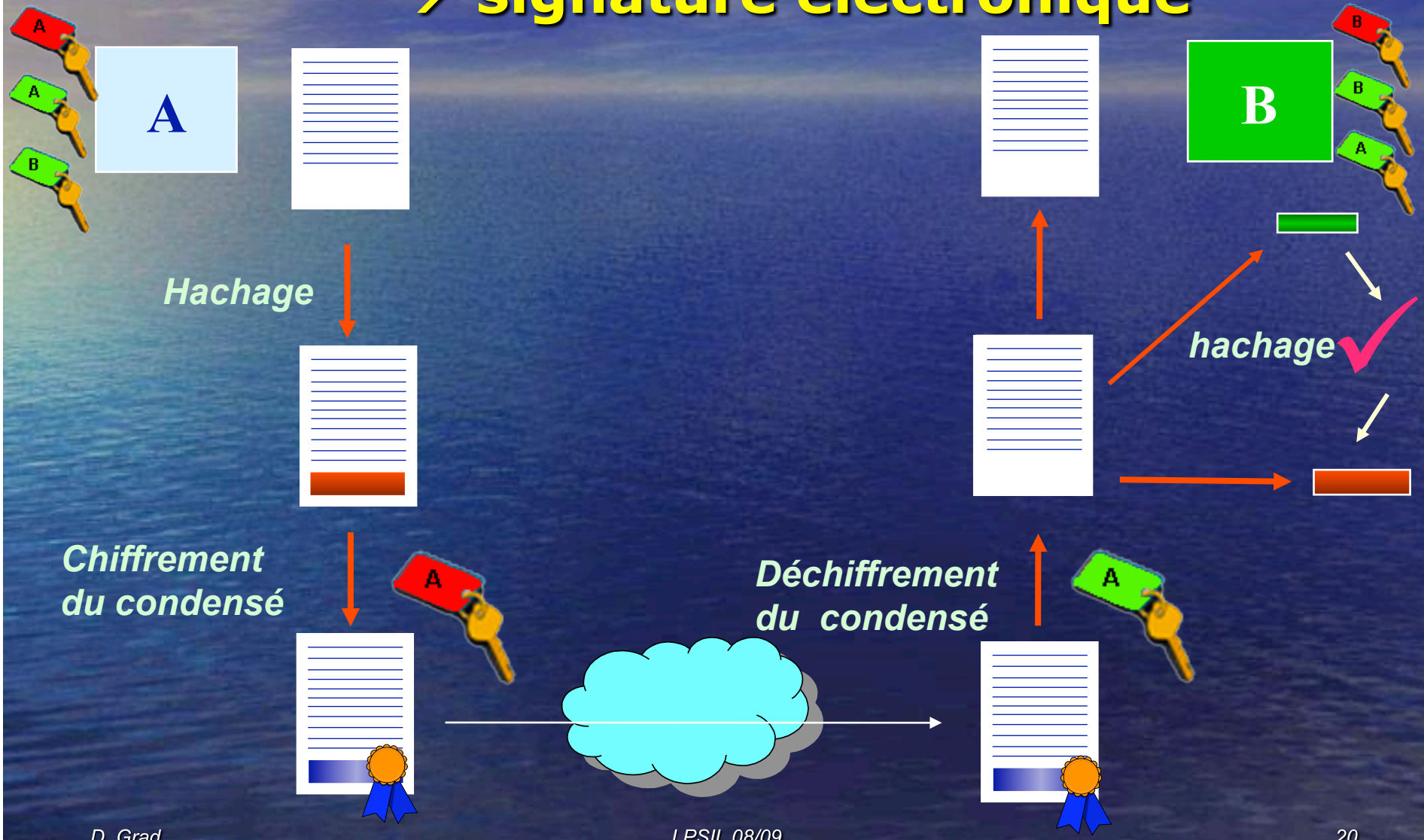


1 & 3 . Authentification et confidentialité

- A veut transmettre un document authentifié et chiffré à B
  - A chiffre successivement le document avec la clé publique de B, puis avec sa clé privée
  - A émet le document doublement chiffré à destination de B
  - À réception, B déchiffre successivement le document avec la clé publique de A, puis avec sa clé privée
    - → Seul A a pu émettre ce document, le document n'ayant pu être chiffré qu'avec la clé privée de A
    - → Seul B peut exploiter le document, car il a été chiffré avec sa clé publique
    - → Le document est intègre si les 2 déchiffrements successifs n'échouent pas

2 & 3 . Authentification et intégrité

→ signature électronique



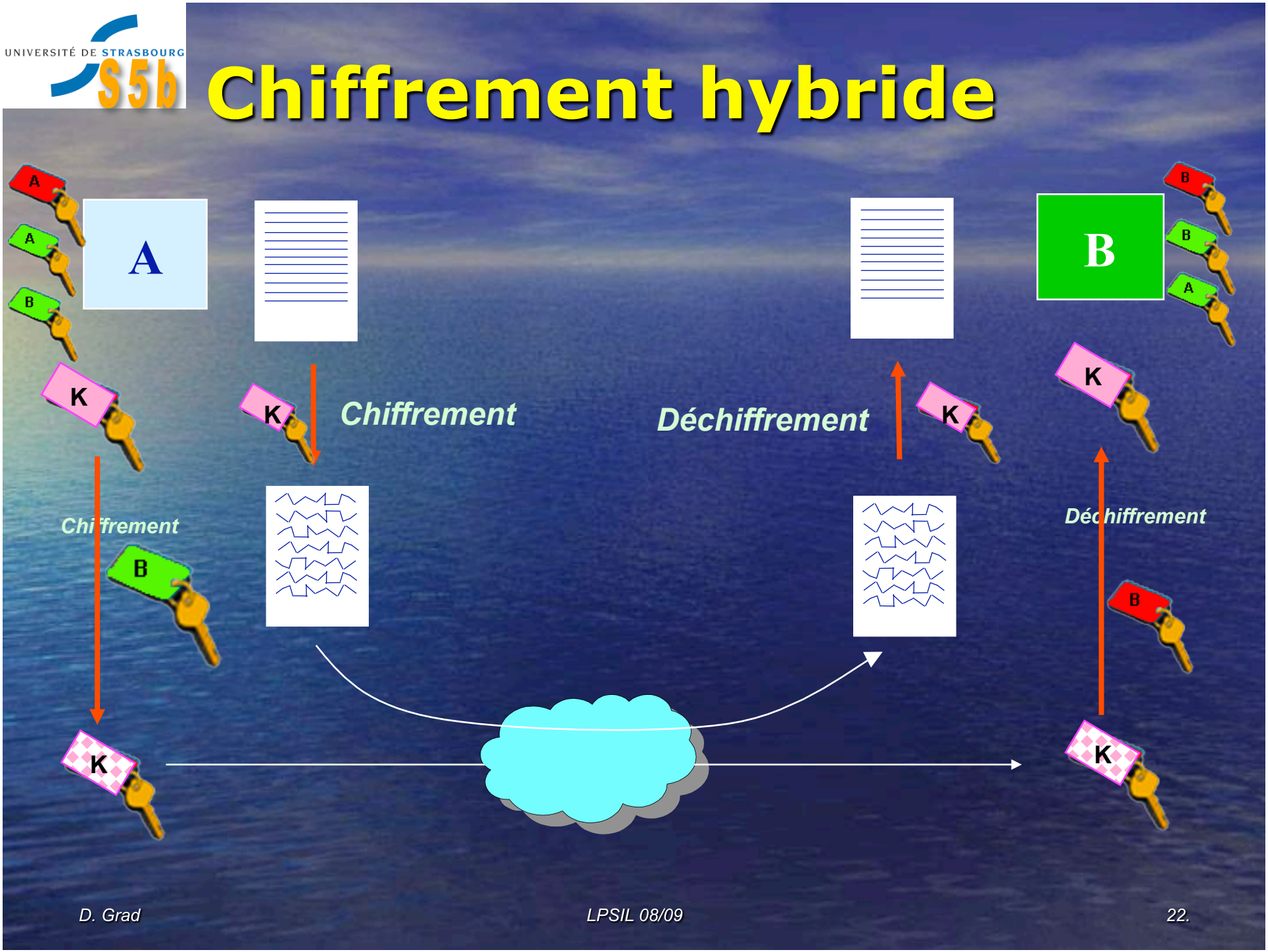
Authentification et intégrité
→ signature électronique

- A veut transmettre un document signé (authentifié et intègre) à B
  - A condense le document et chiffre le condensé avec sa clé privée → empreinte ou signature
  - A émet le document suivi de sa signature à destination de B
  - À réception, B déchiffre l'empreinte avec la clé publique de A, pour extraire le condensé
  - B condense également le document
  - B compare le condensé reçu avec celui obtenu

    →Si identique, le document est intègre et authentifié

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

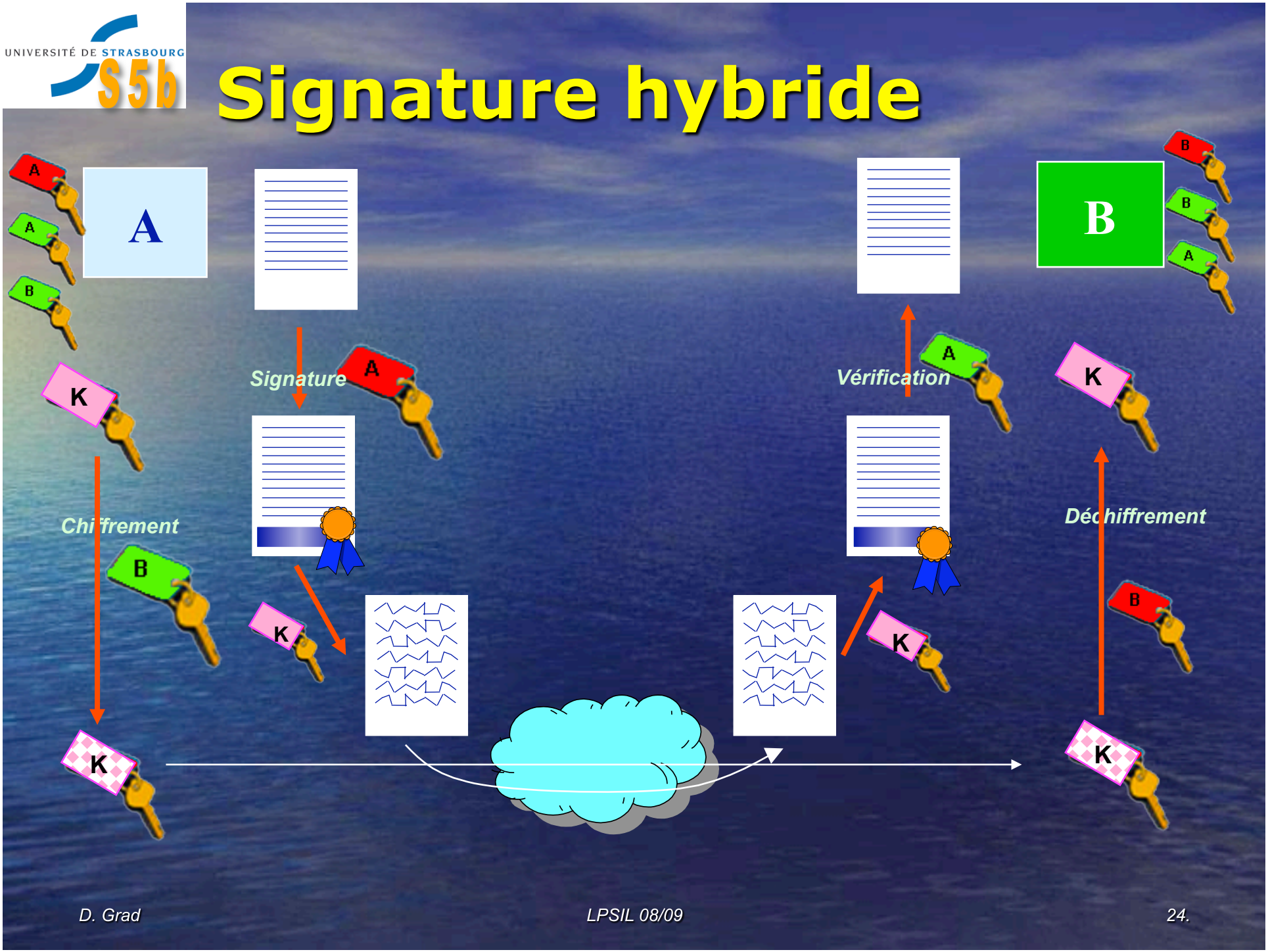
Chiffrement hybride



Chiffrement hybride

- A veut transmettre un document chiffré à B
  - A choisit une clé secrète K
  - A émet la clé secrète chiffrée avec la clé publique de B
  - A émet le message chiffré avec la clé secrète K
  - À réception, B déchiffre la clé secrète K avec sa clé privée
  - B déchiffre le message avec la clé secrète K
- → intérêt : la durée de vie de K est brève, elle peut changer à chaque message

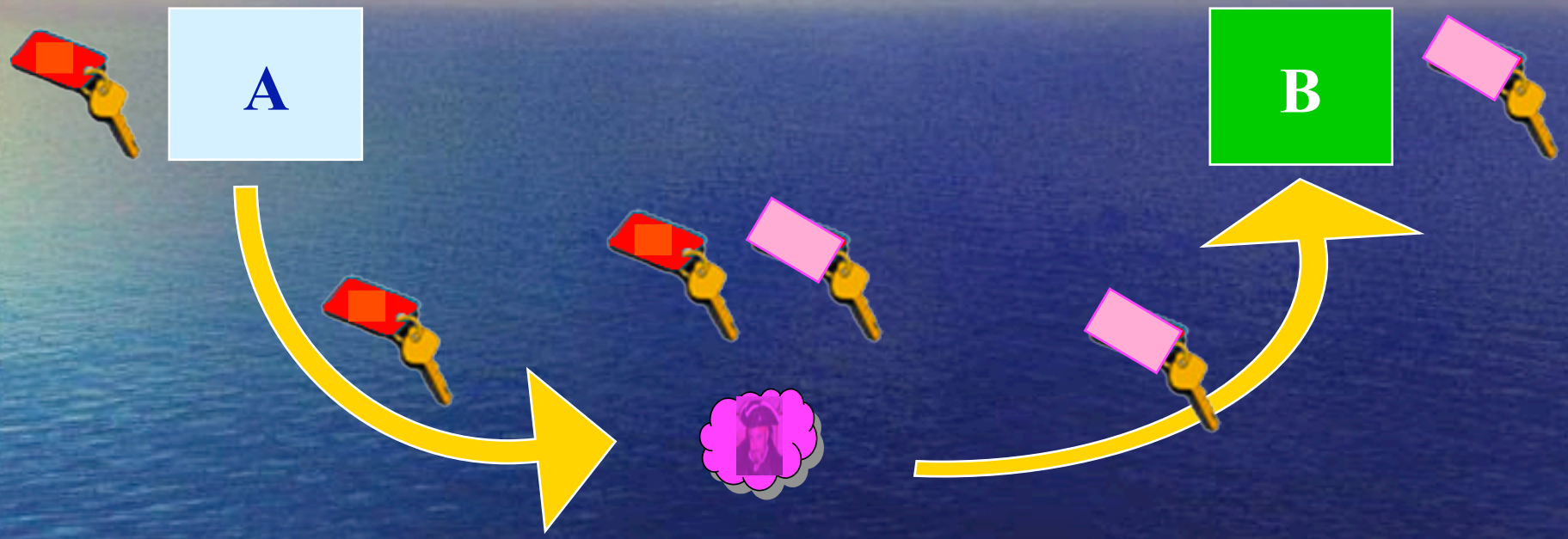
Signature hybride



Signature hybride

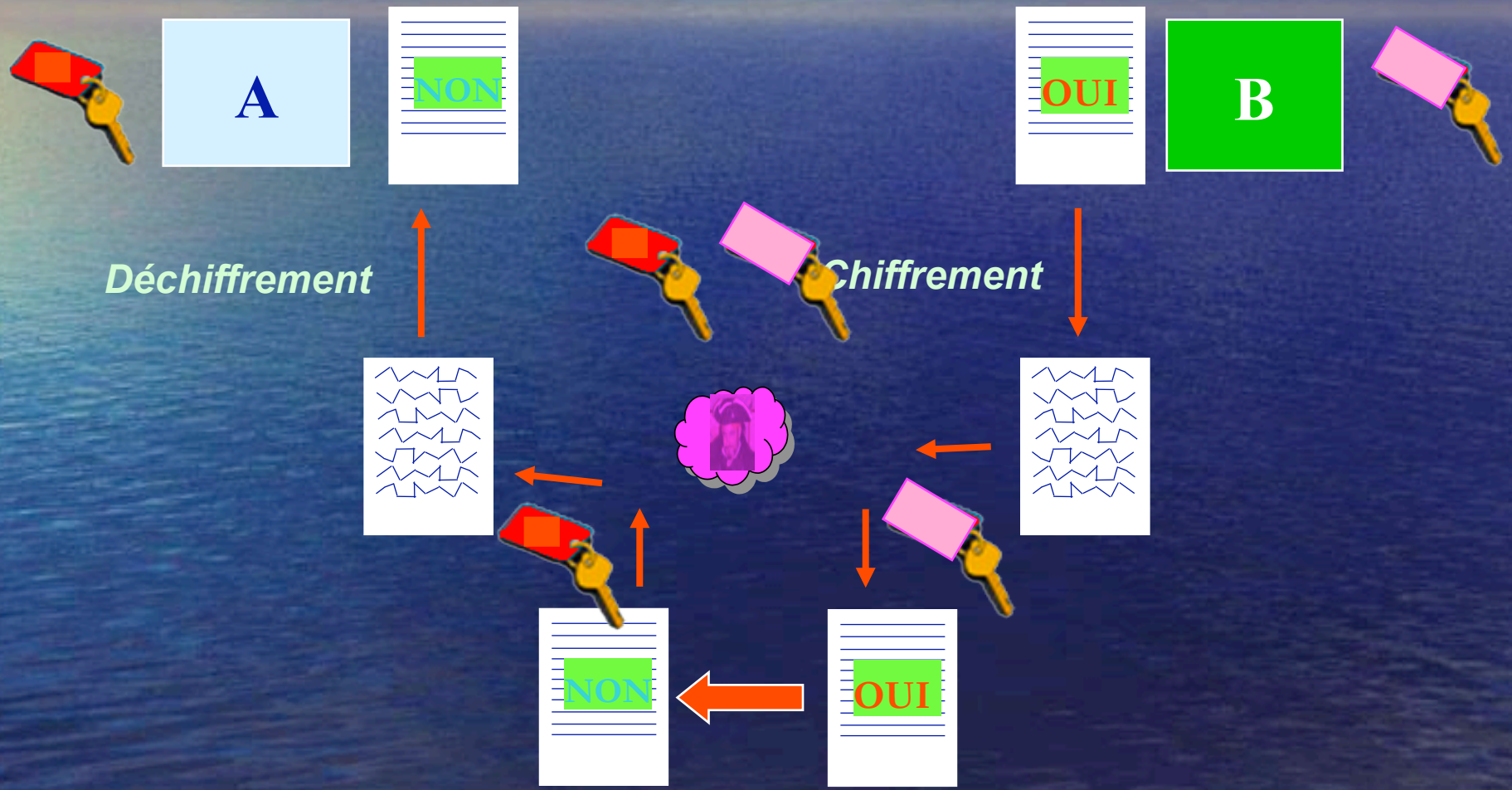
- A veut transmettre un document signé et chiffré à B
  - A choisit une clé secrète K
  - A émet la clé secrète chiffrée avec la clé publique de B
  - À réception, B déchiffre la clé secrète K avec sa clé privée
  - A condense le document et chiffre le condensé avec sa clé privée → empreinte ou signature
  - A émet le document signé, chiffré avec la clé secrète K
  - À réception, B déchiffre le document avec la clé secrète K
  - B déchiffre l'empreinte avec la clé publique de A, pour extraire le condensé
  - B condense également le document
  - B compare le condensé reçu avec celui obtenu
    - →Si identique, le document est confidentiel, intègre et authentifié
- → intérêt : la durée de vie de K est brève, elle peut changer à chaque message

L'attaque de l'Homme du milieu : *Man in the Middle*



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

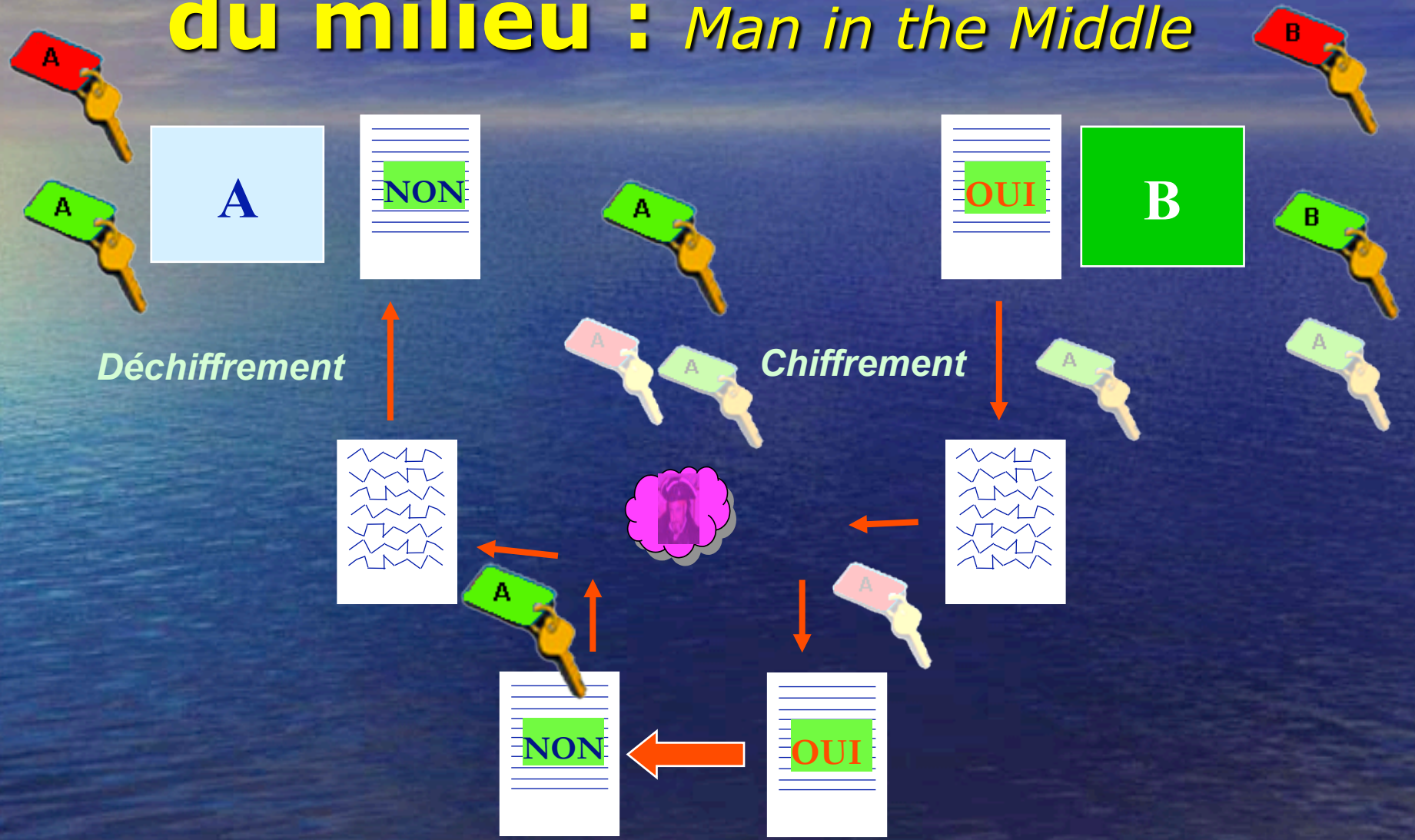
L'attaque de l'Homme du milieu : *Man in the Middle*



L'attaque de l'Homme du milieu : *Man in the Middle*

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

L'attaque de l'Homme du milieu : *Man in the Middle*



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Difficultés liées aux clés

- Mécanismes à clé secrète
  - Difficulté de garantir la confidentialité lors du partage de la clé secrète
  - Ce mécanisme est souvent mis en œuvre en combinaison avec mécanisme à clé publique
- Mécanismes à clé publique
  - Le stockage de la clé privée pose un problème
    - Sécurité relative lorsque le stockage est assuré par le système d'exploitation
    - Cartes à puce pour permettre à l'utilisateur de ne pas «quitter» sa clé
  - Performances des algorithmes
  - Obtention des clés publiques/privées
    - Qui génère et distribue ces clés et qui en garantit l'authenticité ?
    - Que faire en cas de perte de la clé privée ?

Qu'est ce qu'un certificat ?

- Un certificat correspond à l'association :
  - D'une clé publique
  - De l'identité de son propriétaire
  - De l'usage qui peut être fait de la clé
- Cette association est assurée par une autorité de confiance, appelée

  Autorité de Certification

  ou Tiers de confiance

  qui atteste de la véracité des informations contenues dans le certificat

Pourquoi un certificat ?

- Utilisation de certificats
  - Authentification : destiné à l'authentification forte d'entités (personnes, applications, équipements) stocké sur une machine ou une carte à puce
  - Signature de documents : utilisé pour la signature et la vérification de signature de documents
  - Chiffrement : utilisé pour le chiffrement de données et les clés de session
  - Signature de certificats : utilisé pour signer d'autres certificats

Comment obtenir un certificat ?

- Auprès d'une Autorité de Certification
  - Verisign
  - Thawte
  - Certplus
  - Certinomis
- Ces autorités reconnues délivrent, distribuent de manière sécurisée et révoquent les certificats.
- L'autorité de certification est représentée par un certificat racine

Tiers de Confiance et ICP

- ICP Infrastructure à Clé Publique
- PKI Public Key Infrastructure
- Architecture complexe avec
  - AC Autorité de Certification,
  - AE Autorité d'Enregistrement,
  - OC Opérateur de Certification
- U → OC identification et contrôle →AE validation → AC délivre le certificat → AE distribue → U

Certificats X509v3

- Un premier pas de normalisation a permis de définir le format d'un certificat X509v3
- Un utilisateur obtient une clé privée, la stocke et diffuse le certificat correspondant, qui comporte les champs suivants :

Version
Algorithmes utilisés
Nom de l'émetteur
Organisation
Adresse e-mail
Clé publique
Numéro de série
Validité
Période de Validité
Nom
Adresse
Signature de l'autorité de certification émettrice

La publication du certificat

- Une fois le certificat obtenu, la clé privée est stockée sur la machine du propriétaire et son certificat (identification + clé publique) doit être publié :
  - Par envoi d'un message signé
  - Par import sous forme de fichier PKCS#12
  - Par consultation du site web de l'AC
    https://digitalid.verisign.com/services/client/index.html
  - Par consultation d'annuaires : X500, LDAP, Active Directory, DNS
  - IKE , mécanismes d'échange de certificats

La validation du certificat

- Avant d'être utilisée dans une application, le certificat doit être vérifié :
  - La date de validité est-elle correcte ? Le certificat n'a-t-il pas expiré ?
  - Quelle confiance accorde-t on à l'autorité de certification ayant signé le certificat ?
  - La signature de l'autorité de certification est-elle valable ?
  - Le certificat fait-il parti d'une liste de révocation ?
  - Condition d'utilisation du certificat

Utilisation du certificat

- Certificat serveur
  - Un certificat serveur est un certificat dont l'identité est associée à un service. Il permet à un client Web de s'assurer que le service concerné est bien celui qu'il prétent être
- Certificat client
  - Un certificat client est un certificat associé à un utilisateur final (identité de l'utilisateur ou adresse mail). Il permet au correspondant de s'assurer de l'authenticité de l'utilisateur et peut remplacer le *user/password*
- Certificat de code
  - Un certificat de code est utilisé afin de signer numériquement les exécutables. Il permet de fournir une garantie sur l'authenticité et l'intégrité des fichiers téléchargés (aplets, ActiveX…)

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG S5b

Difficultés des PKIs

- Absence de standards de certification, pas de normalisation internationale
- Gestion permanente des clés à grande échelle
- Identification de l'utilisateur final (adresse email insuffisante)
- Validation, mise à jour et révocation des certificats dans les annuaires
- Contrôle de durée de validité et révocation
- Sécurité du stockage des clés

"Le plus compliqué, c'est d'organiser la confiance et la maintenir vingt-quatre heures sur vingt-quatre"

Richard Pirim, architecte système sécurité et réseau de la direction générale des impôts

Autres certificats ?

- Certificat auto-signé
  - l'utilisateur crée lui même et signe son propre certificat *(par ex. avec les outils openssl sous Unix)* auquel on peut accorder sa confiance ou non.
- PGP Pretty Good Privacy (Phil Zimmermann)
  - Outils et plug-ins disponibles gratuitement
  - Notion de réseau de confiance par chaînage
  - Chaque utilisateur crée et distribue sa clé
    - A envoie sa clé à B qui la valide
    - B envoie sa clé (et celle de A) à C qui la valide (si C accorde sa confiance à B, il l'accorde aussi à A)

Exemple de mise en œuvre de certificats : la messagerie

- La messagerie a été le premier service déployé à très grande échelle dans l'Internet
- Elle utilise toujours le protocole SMTP *SIMPLE MAIL TRANSFER PROTOCOL* RFC821 (1982)
- Le service ne permet aucune authentification, ne permet aucun contrôle, et les messages circulent en clair dans le réseau

La messagerie le problème

- Les messages ne peuvent contenir que des caractères ASCII sur 7 bits
- Afin de pouvoir attacher des fichiers binaires aux messages, le protocole a été étendu avec le format MIME *Multipurpose Internet Mail Extensions* (1996)
- MIME permet le codage de fichiers binaires quelconques (doc, xls, exe, zip, mp3, wav, mpg, …) sous forme de suite de caractères ASCII sur 7 bits
- Toutes les informations **EN CLAIR** peuvent facilement être décodées et exploitées

Le message

```
Date: Sat, 18 Sep 2003 09:48:05 +0200
From: Robert.Nard@urs.u-strasbg.fr (NARD Robert)
Message-Id: <200310180748.h9I7m5h12438@urs.u-strasbg.fr>
To: Dominique.Grad@urs.u-strasbg.fr
MIME-Version: 1.0
Content-Type: multipart/mixed; boundary="-
   MOQ106646328578ef2ea4da92d58b0b5545b804fb6845"
X-Antivirus: scanned by sophos at u-strasbg.fr

This message is in MIME format.

---MOQ106646328578ef2ea4da92d58b0b5545b804fb6845
Content-Type: text/plain
Content-Transfer-Encoding: 8bit

ci joint le compte rendu de la réunion de jeudi
Robert

---MOQ106646328578ef2ea4da92d58b0b5545b804fb6845
Content-Type: application/msword; name="Réunion du 16 octobre.doc"
Content-Transfer-Encoding: base64
Content-Disposition: inline; filename="Réunion du 16 octobre.doc"

0M8R4KGxGuEAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAPgADAP7/CQAGAAAAAAAAAAAAAABAAAALgAAAAA
piauI94j0AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAMBBYALh4AAIBXAACAVwAAxgsAAAAAAArAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAD//w8AAAAAAAAAAD//w8AAAAAAAAAAD//w8AAAAAAAAAAAA
```

En-tête

Corps du message

Pièce attachée codée en base64

La messagerie la solution

- Le protocole **S/MIME** *Secure/MIME* est une extension du protocole MIME qui permet de sécuriser les messageries en assurant
  - Confidentialité
  - Intégrité
  - Authentification
  - Non-répudiation
- S/MIME va permettre de signer et/ou chiffrer les messages en utilisant les algorithmes de hachage, chiffrement et certificat X509
- S/MIME est supporté par les clients de messagerie Microsoft Outlook Express et Netscape Messenger

TP1 : La messagerie sécurisée

But du TP : Obtenir et utiliser un certificat lors d'échanges de messagerie sécurisée