La Carte à Microprocesseur

Un système embarqué en plein essor

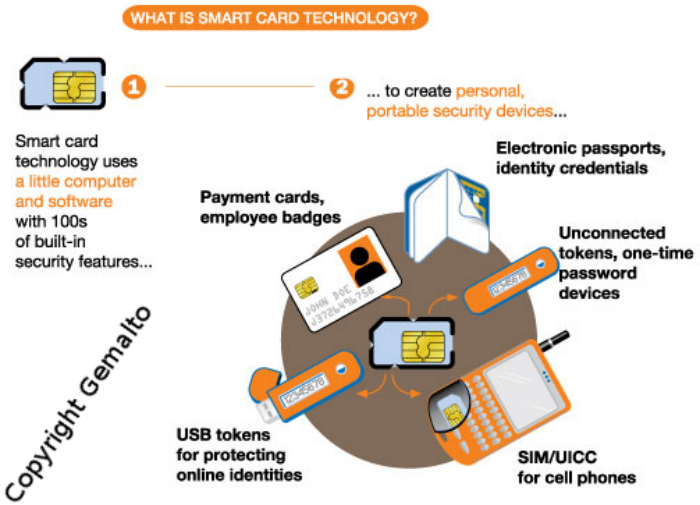
Tegawendé F. Bissyandé
tegawende.bissyande@fasolabs.org

Cours préparé pour
L'Université Ouaga I Pr. Joseph Ki-Zerbo(UFR SEA)

24 Février 2015

FasoLabs.org

Rappels chapitres précédents...



Marketing de base... Gemalto

Serious Online Security

How **smart cards** provide solutions to software-based security problems

PROBLEMS WITH SOFTWARE-BASED SECURITY APPLICATIONS

Single sign-on, password vaults and other software-based security applications consolidate multiple passwords, but leave them vulnerable.

1 If passwords are the only protection used, then anyone obtaining the password can gain access to the system.

2 A master password is vulnerable to...

...shoulder surfing
...reading sticky note reminders
...keyboard logging

And a master password is static: once stolen, it can be used anytime.

3 Insiders and IT contractors can compromise master password files.

SOLUTIONS PROVIDED BY **SMART CARDS**

A smart card is a small computer that is separate from the desktop, and is used as part of the authentication process.

1 You must physically have the smart card or token for network or information access.

USB Token
Chip inside

- This is called "Strong Authentication"
- It eliminates the threat of stolen passwords.

2 A smart card is invulnerable to keyboard logging because security key calculations are done by the computer inside it; only encrypted information passes through the computer.

- Even if a hacker captures the authentication exchange, nothing can be done with it.

Every authentication is unique and created on the fly.

3 Since insiders cannot log in without the token, and there is no master password, smart cards are virtually impossible to attack. Smart card technology is already at the heart of security systems for billions of dollars of individual transactions worldwide in mobilecom, banking, cable and satellite TV, and the U.S. Department of Defense.

FasoLabs.org

La sécurité dans la carte à puce

A quels niveaux ?

- physique *(besoin de materiel d'accès aux données)*
- du modèle de système de fichier *(condition d'accès)*
- de la carte *(identification mutuelle entre la carte et l'application qui l'utilise)*
- au niveau des fichiers *(Mot de passe ou code PIN pour accéder à un fichier)*

Garder en mémoire...

- Securité de la carte à puce : ensembles de moyens tres efficaces
- Application mal implémentée $\Rightarrow$ carte défaillante

FasoLabs.org

Quelques commandes relatives à la sécurité

VERIFY

- Vérifier un password - comparaison avec info stockée
- "Mot de passe" transite en clair
- Nombre d'échecs comptés (e.g., code PIN de SIM)

INTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier la carte vis-à-vis du lecteur
- Utilisation de fonctions cryptographiques
- A/R d'infos entre la carte et le lecteur

GET CHALLENGE

- Utilisé en conjonction avec `EXTERNAL AUTHENTICATE`
- Demande à la carte la génération d'un *challenge*

EXTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier l'app du lecteur vis-à-vis de la carte
- Le pendant de `INTERNAL AUTHENTICATE`

ENVELOPE

- Envoi d'une commande à l'intérieur d'une commande
- Possibilité de crypter entièrement les data dans l'APDU de la commande
- Utilisée pour se prémunir contre l'espionnage des communications lecteurs$\longleftrightarrow$cartes

FasoLabs.org

Quelques commandes relatives à la sécurité

VERIFY

- Vérifier un password - comparaison avec info stockée
- "Mot de passe" transite en clair
- Nombre d'échecs comptés (e.g., code PIN de SIM)

INTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier la carte vis-à-vis du lecteur
- Utilisation de fonctions cryptographiques
- A/R d'infos entre la carte et le lecteur

GET CHALLENGE

- Utilisé en conjonction avec `EXTERNAL AUTHENTICATE`
- Demande à la carte la génération d'un *challenge*

EXTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier l'app du lecteur vis-à-vis de la carte
- Le pendant de `INTERNAL AUTHENTICATE`

ENVELOPE

- Envoi d'une commande à l'intérieur d'une commande
- Possibilité de crypter entièrement les data dans l'APDU de la commande
- Utilisée pour se prémunir contre l'espionnage des communications lecteurs←→cartes

FasoLabs.org

Quelques commandes relatives à la sécurité

VERIFY

- Vérifier un password - comparaison avec info stockée
- "Mot de passe" transite en clair
- Nombre d'échecs comptés (e.g., code PIN de SIM)

INTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier la carte vis-à-vis du lecteur
- Utilisation de fonctions cryptographiques
- A/R d'infos entre la carte et le lecteur

GET CHALLENGE

- Utilisé en conjonction avec `EXTERNAL AUTHENTICATE`
- Demande à la carte la génération d'un *challenge*

EXTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier l'app du lecteur vis-à-vis de la carte
- Le pendant de `INTERNAL AUTHENTICATE`

ENVELOPE

- Envoi d'une commande à l'intérieur d'une commande
- Possibilité de crypter entièrement les data dans l'APDU de la commande
- Utilisée pour se prémunir contre l'espionnage des communications lecteurs$\leftarrow\rightarrow$cartes

FasoLabs.org

Quelques commandes relatives à la sécurité

VERIFY

- Vérifier un password - comparaison avec info stockée
- "Mot de passe" transite en clair
- Nombre d'échecs comptés (e.g., code PIN de SIM)

INTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier la carte vis-à-vis du lecteur
- Utilisation de fonctions cryptographiques
- A/R d'infos entre la carte et le lecteur

GET CHALLENGE

- Utilisé en conjonction avec `EXTERNAL AUTHENTICATE`
- Demande à la carte la génération d'un *challenge*

EXTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier l'app du lecteur vis-à-vis de la carte
- Le pendant de `INTERNAL AUTHENTICATE`

ENVELOPE

- Envoi d'une commande à l'intérieur d'une commande
- Possibilité de crypter entièrement les data dans l'APDU de la commande
- Utilisée pour se prémunir contre l'espionnage des communications lecteurs←→cartes

FasoLabs.org

Quelques commandes relatives à la sécurité

VERIFY

- Vérifier un password - comparaison avec info stockée
- "Mot de passe" transite en clair
- Nombre d'échecs comptés (e.g., code PIN de SIM)

INTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier la carte vis-à-vis du lecteur
- Utilisation de fonctions cryptographiques
- A/R d'infos entre la carte et le lecteur

GET CHALLENGE

- Utilisé en conjonction avec `EXTERNAL AUTHENTICATE`
- Demande à la carte la génération d'un *challenge*

EXTERNAL AUTHENTICATE

- Authentifier l'app du lecteur vis-à-vis de la carte
- Le pendant de `INTERNAL AUTHENTICATE`

ENVELOPE

- Envoi d'une commande à l'intérieur d'une commande
- Possibilité de crypter entièrement les data dans l'APDU de la commande
- Utilisée pour se prémunir contre l'espionnage des communications lecteurs$\leftarrow\rightarrow$cartes

FasoLabs.org

Notions de cryptographie

Vocabulaire:

- **Texte en clair** : Données compréhensibles qu'un expéditeur veut envoyer à un destinataire
- **Texte Chiffré / Cryptogramme** : Données incompréhensibles obtenu à partir du texte en claire
- **Chiffrement** : Processus transformant le texte en clair en texte chiffré
- **Déchiffrement/Décryptage** : Processus inverse du chiffrement
- **Crytographie** : science consistant à garder les messages secrets
- **Cryptographe** : Individu pratiquant de la cryptographie
- **Cryptanalyste** : Individu spécialisé dans le décryptage des messages chiffrés
  $\Rightarrow$ ennemi du cryptographe
- **Cryptologie** : Branche mathématique s'intéressant au cryptage
- **Chiffrement continu / par blocs** : selon que les données à crypter sont découpées en blocs ou pas

Equations

1. $C = E(M)$ $\leftarrow$ chiffrement
2. $D(C) = M$ $\leftarrow$ déchiffrement
3. $D(E(M)) = M$ $\leftarrow$ Equivalence

FasoLabs.org

Notions de cryptographie

Vocabulaire:

- **Texte en clair** : Données compréhensibles qu'un expéditeur veut envoyer à un destinataire
- **Texte Chiffré / Cryptogramme** : Données incompréhensibles obtenu à partir du texte en claire
- **Chiffrement** : Processus transformant le texte en clair en texte chiffré
- **Déchiffrement/Décryptage** : Processus inverse du chiffrement
- **Crytographie** : science consistant à garder les messages secrets
- **Cryptographe** : Individu pratiquant de la cryptographie
- **Cryptanalyste** : Individu spécialisé dans le décryptage des messages chiffrés
  $\Rightarrow$ ennemi du cryptographe
- **Cryptologie** : Branche mathématique s'intéressant au cryptage
- **Chiffrement continu / par blocs** : selon que les données à crypter sont découpées en blocs ou pas

Equations

1. $\mathtt{C} = \mathtt{E}(\mathtt{M})$ $\leftarrow$ chiffrement
2. $\mathtt{D}(\mathtt{C}) = \mathtt{M}$ $\leftarrow$ déchiffrement
3. $\mathtt{D}(\mathtt{E}(\mathtt{M})) = \mathtt{M}$ $\leftarrow$ Equivalence

FasoLabs.org

Algorithmes cryptographiques

Types d'algos:

- algo = fonction mathématique utilisée pour le chiffrement/déchiffrement
- Deux types d'algo : algo secret[a] et algo public

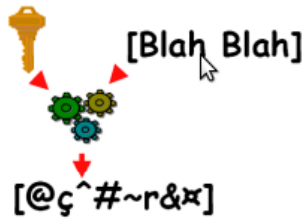
[a] encore appelé algo restreint, n'est quasiment plus le cas aujourd'hui

Algo restreint

- Réalisation de systèmes sûrs
- Moindre "fuite" au niveau algo détruit toute la sécurité
- Pas de standardisation possible ⇒ pas de compatibilité/interopérabilité

Algo public

- Sont connus de tous
- Recours à une information "secrete" constituée par une ou plusieurs clés
- En cas de fuite au niveau de la clé, tout le système n'est pas à casser



Algorithmes cryptographiques

Types d'algos:

- algo = fonction mathématique utilisée pour le chiffrement/déchiffrement
- Deux types d'algo : algo secret[a] et algo public

[a] encore appelé algo restreint, n'est quasiment plus le cas aujourd'hui

Algo restreint

- Réalisation de systèmes sûrs
- Moindre "fuite" au niveau algo détruit toute la sécurité
- Pas de standardisation possible ⇒ pas de compatibilité/interopérabilité

Algo public

- Sont connus de tous
- Recours à une information "secrete" constituée par une ou plusieurs clés
- En cas de fuite au niveau de la clé, tout le système n'est pas à casser

Algorithmes cryptographiques

Types d'algos:

- algo = fonction mathématique utilisée pour le chiffrement/déchiffrement
- Deux types d'algo : algo secret[a] et algo public

[a] encore appelé algo restreint, n'est quasiment plus le cas aujourd'hui

Algo restreint

- Réalisation de systèmes sûrs
- Moindre "fuite" au niveau algo détruit toute la sécurité
- Pas de standardisation possible ⇒ pas de compatibilité/interopérabilité

Algo public

- Sont connus de tous
- Recours à une information "secrete" constituée par une ou plusieurs clés
- En cas de fuite au niveau de la clé, tout le système n'est pas à casser

Les algorithmes publics...

... à clé secrète

- Le destinataire et l'emetteur se mettent d'accord sur une clé (par tout moyen convenable)
- Clé unique pour le chiffrement et le déchiffrement
- Complexité de la clé $\Rightarrow$ ne doit pas etre calculable en un temps raisonnable
- Noeud de la fiabilité du système : Moment de l'échange de la clé

... à clé public

- Une clé de chiffrement est communiquée à tous les destinataires potentiels
- La clé publique de chiffrement est associée d'une clé privée connue du seul destinataire
- Principe mathématique fait que la clé privée ne peut être déduite connaissant la clé publique

FasoLabs.org

Les algorithmes publics...

... à clé secrète

- Le destinataire et l'emetteur se mettent d'accord sur une clé (par tout moyen convenable)
- Clé unique pour le chiffrement et le déchiffrement
- Complexité de la clé $\Rightarrow$ ne doit pas etre calculable en un temps raisonnable
- Noeud de la fiabilité du système : Moment de l'échange de la clé

... à clé public

- Une clé de chiffrement est communiquée à tous les destinataires potentiels
- La clé publique de chiffrement est associée d'une clé privée connue du seul destinataire
- Principe mathématique fait que la clé privée ne peut être déduite connaissant la clé publique

Les algorithmes publics...

... à clé secrète

- Le destinataire et l'emetteur se mettent d'accord sur une clé (par tout moyen convenable)
- Clé unique pour le chiffrement et le déchiffrement
- Complexité de la clé $\Rightarrow$ ne doit pas etre calculable en un temps raisonnable
- Noeud de la fiabilité du système : Moment de l'échange de la clé

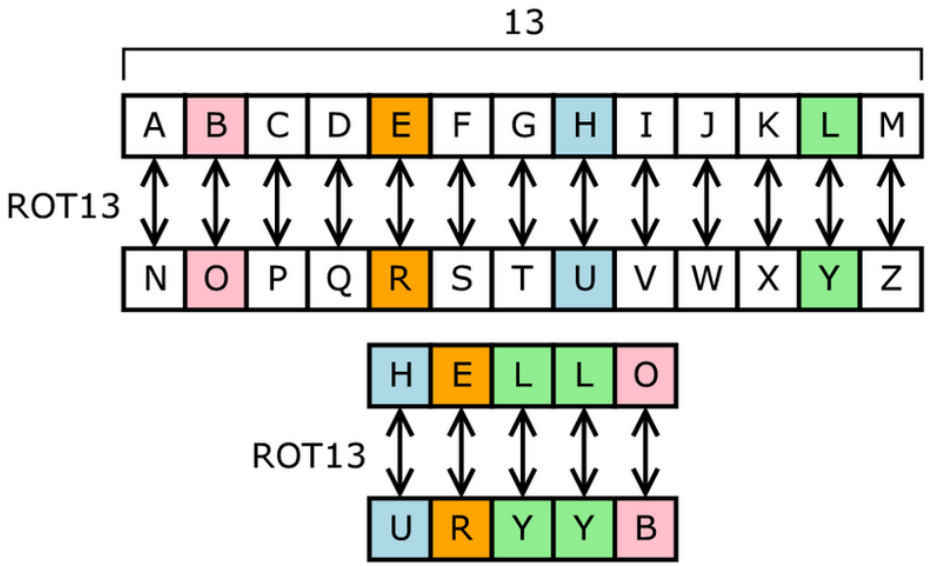
... à clé public

- Une clé de chiffrement est communiquée à tous les destinataires potentiels
- La clé publique de chiffrement est associée d'une clé privée connue du seul destinataire
- Principe mathématique fait que la clé privée ne peut être déduite connaissant la clé publique

Méthodes cryptographiques simples (1)

Chiffres à substitution

- Principe: Un symbole est simplement remplacé par un ou plusieurs autres
- Chiffrement à substitution **monoalphabétique** :
  - Plus ancienne et plus simple
  - En général, Remplacer une lettre de l'alphabet par une autre suivant une "règle secrete"
  - E.g., Chiffre de Jules César : Remplacer une lettre par celle se trouvant `N` places plus loin dans l'alphabet
- Chiffrement à substitution **polyalphabétique**



FasoLabs.org

Méthodes cryptographiques simples (2)

Chiffres à substitution

- Principe: Un symbole est simplement remplacé par un ou plusieurs autres
- Chiffrement à substitution **monoalphabétique**
- Chiffrement à substitution **polyalphabétique** :
  - Les chiffres à substitution sont facilement cassables grâce à une analyse des fréquences (e.g., E est courant en francais)
  - Avant l'avenement de l'informatique, il fallait déjà augmenter la complexité. (e.g., faire varier la valeur du chiffre `N` de César)
  - Carré de Vigenere : Simplifier le cryptage et le décryptage... mais pas la complexité de la clé

Clé	C	A	R	T	E	S	A	P	U	C	E	C	A	R	T
Clair	U	T	I	L	I	S	A	T	I	O	N	D	U	C	H
Crypté	W	T	Z	E	M	K	A	I	C	Q	R	F	U	T	A
Clé	E	S	A	P	U	C	E	C	A	R	T	E	S	A	P
Clair	I	F	F	R	E	D	E	V	I	G	E	N	E	R	E
Crypté	M	X	F	G	Y	B	I	X	I	X	X	J	W	R	T

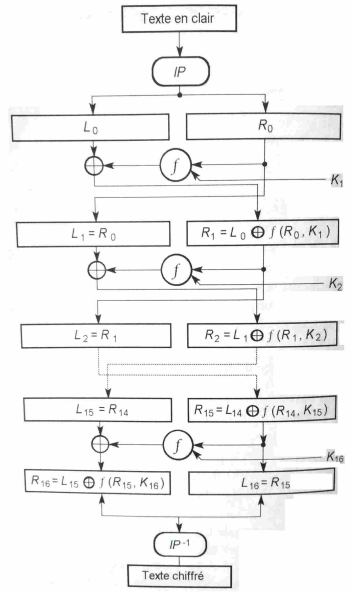
Clair	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
2	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
3	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
4	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
5	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
6	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
7	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
8	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
9	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
10	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
11	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
12	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
13	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
14	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
15	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
16	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
17	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
18	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
19	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
20	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
22	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
23	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
24	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
25	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
26	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

FasoLabs.org

Algorithmes cryptographiques complexes... (1)

... à clé secrete

- DES/DEA: *Data Encryption Stantard/Algorithm*
  - Algo de chiffrement par blocs (64bits)
  - Clé de 56 bits en fait + 8bits (inutilisé ou de parité)
  - Normalisation permet d'avoir des modules prets à l'emploi pour la carte à puce
  - Un meme algo pour le chiffrement et le décryptage



Securité & Programmation

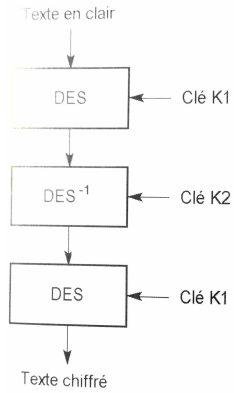
- Certains ont déjà enterré le DES, car l'algorithme s'est avéré cassable...
- ... si on y met les ressources et le temps nécessaires (2^{47} essais de clé)
- Beaucoup d'implémentations gratuites existent (e.g., `http://us.cryptosoft.de/html/home.htm`)

FasoLabs.org

Algorithmes cryptographiques complexes... (2)

... à clé secrete

- `DES/DEA`: *Data Encryption Stantard/Algorithm*
- `triple DES`: *triple Data Encryption Stantard*
  - Enchainement de 3 DES successifs
  - 2 clés distincts pour 2 chiffrements et 1 décryptage
  - Clé de 56 bits en fait + 8bits (inutilisé ou de parité)



Securité & Programmation

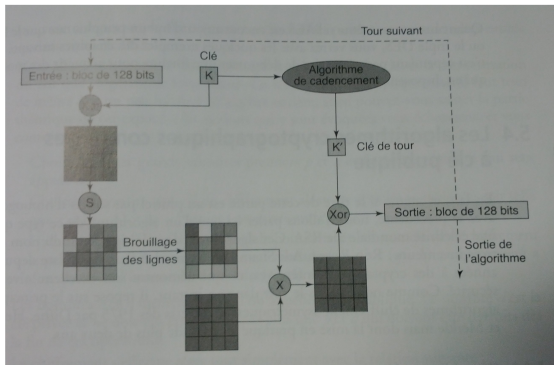
- Réputé inviolable jusqu'à présent
- Théoriquement, il faut pouvoir essayer environ 2^{56} DES consécutifs pour en venir à bout
  e.g., si jamais on construit une machine qui casse 1 DES à la seconde, il lui faudra 2,2 milliards années
- Prb: le triple DES est 3 fois plus lent qu'un DES...

FasoLabs.org

Algorithmes cryptographiques complexes... (3)

... à clé secrete

- `DES/DEA`: *Data Encryption Stantard/Algorithm*
- `triple DES`: *triple Data Encryption Stantard*
- `AES`: *Advanced Data Encryption Stantard*
  - Algo de chiffrement par blocs (128 bits)
  - Sécurité absolue avec une clé de 128 bits
  - Facile à mettre en oeuvre (matériel et logiciel)
  - Algo rapide (6x plus rapide qu'un DES malgré une clé 2x plus longue)
  - Algo sûr résistant à toutes les techniques de cryptanalyse



Securité & Programmation

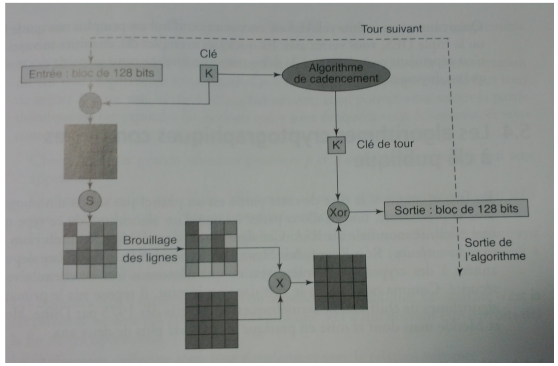
- 2^{128} *secondes* = 150.000 *milliards annees* pour casser un AES
  (notre univers a seulement 20 milliards d'années)
- l'AES est cependant plus rare que le triple DES sur les cartes à puces actuelles

FasoLabs.org

Algorithmes cryptographiques complexes... (4)

... à clé publique

- RSA: *Ron Rivest, Adi Shamir, Leonard Adleman*
  - Algo de chiffrement par blocs (128 bits)
  - Sécurité absolue avec une clé de 128 bits
  - Facile à mettre en oeuvre (matériel et logiciel)
  - Algo rapide (6x plus rapide qu'un DES malgré une clé 2x plus longue)
  - Algo sûr résistant à toutes les techniques de cryptanalyse



Securité & Programmation

- $2^{128} secondes = 150.000$ *milliards annees* pour casser un AES
  (notre univers a seulement 20 milliards d'années)
- l'AES est cependant plus rare que le triple DES sur les cartes à puces actuelles

FasoLabs.org