Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Premier ministre

Machines à voter pratiques et sécurisées

Les machines à voter de nouvelle génération

Direction Centrale de la Sécurité des Systèmes d'Information

F. Chabaud,

4 décembre 2008

PREMIER MINISTRE
S · G · D · N

Plan

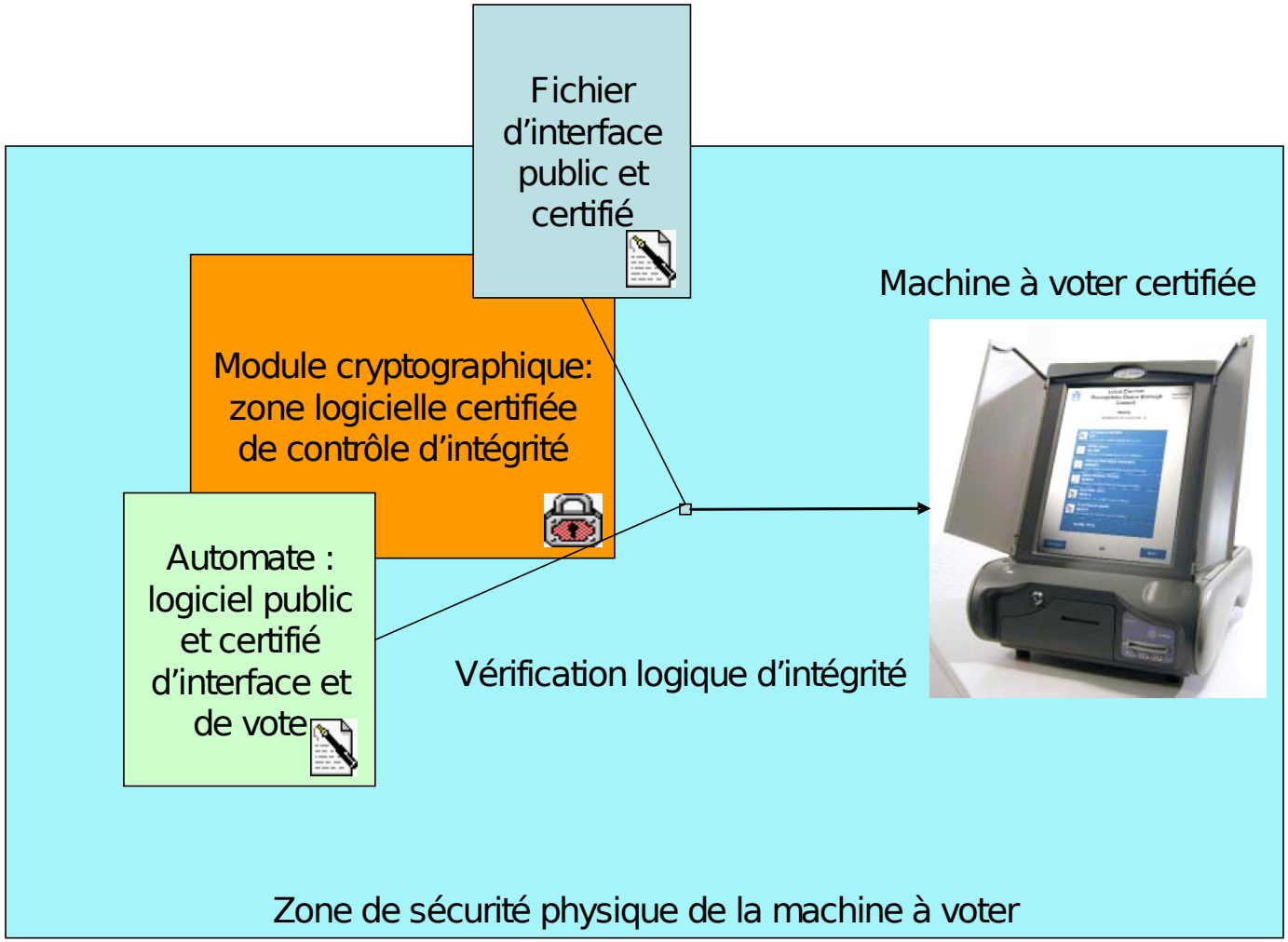
Cet exposé présente un travail conjoint avec E. Bresson, X. Chassagneux et M. Videau

- Fondements scientifiques
- Principes
  - ✓ Architecture
  - ✓ Certification de l'interface
  - ✓ Automate
  - ✓ Sécurité physique
- Le jour J
  - ✓ Vérification de la machine à voter
  - ✓ Déroulement du scrutin
- Le contrôle par le citoyen
- Usage de la cryptographie

Fondements scientifiques

- L'utilisation des machines à voter existantes a fait apparaître des anomalies qui jettent le doute sur ce mode de scrutin
- De fausses bonnes idées sont apparues en réaction
  - ✓ Ne pas recourir aux machines à voter
    - ➢ C'est une solution, mais peu constructive.
  - ✓ Utiliser des bulletins classiques que l'on scanne ou que l'on stocke pour permettre une vérification ultérieure
    - ➢ Problème juridique : quel résultat prévaut en cas de différence ?
    - ➢ Problème de fond : cela ne dissipe pas les doutes, au contraire.
  - ✓ Utiliser des protocoles cryptographiques de vote
    - ➢ Coût d'infrastructure élevé
    - ➢ Compréhension très (trop) difficile pour le citoyen
- Par contre, une idée semble intéressante :
  - ✓ Séparer le processus de configuration du scrutin de celui du vote
  - ✓ Publier et prouver formellement ce dernier processus

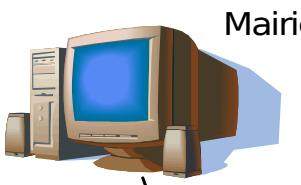
Principe d'architecture



- Automate minimal exécutant l'interface
- Fichier d'interface homme-machine
- Module cryptographique
- Logiciel de décompte
- Sécurité physique

Principe de certification de l'interface

- Application au cas français
- Principe : assurer la transparence
  - ✓ Interface publiée
  - ✓ Vérifiable
  - ✓ Permettant de s'entraîner au vote

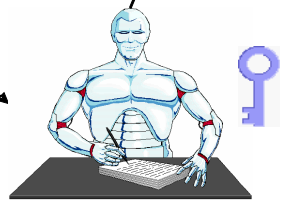


Mairie

Fichier d'interface

Fichier d'interface public et certifié

Machine à voter agréée



Ministère de l'intérieur (commission de propagande)

Principe de l'automate

- Issu des travaux de Ka-Ping Yee, David Wagner, Marti Hearst et Steven Bellovin http://zesty.ca/voting
- L'automate doit être uniquement capable
  - ✓ d'afficher des images issues du fichier d'interface
  - ✓ d'affecter à certaines portions des liens selon une structure définie dans le fichier d'interface
  - ✓ de passer d'une page à une autre selon les liens choisis par l'utilisateur
  - ✓ de comptabiliser certaines transitions, qui constituent le vote proprement dit
- Le code de l'automate doit être
  - ✓ Public (source et binaire)
  - ✓ Prouvé et certifié cryptographiquement (binaire)
  - ✓ Vérifié par le module cryptographique de la MàV

Principe du module cryptographique

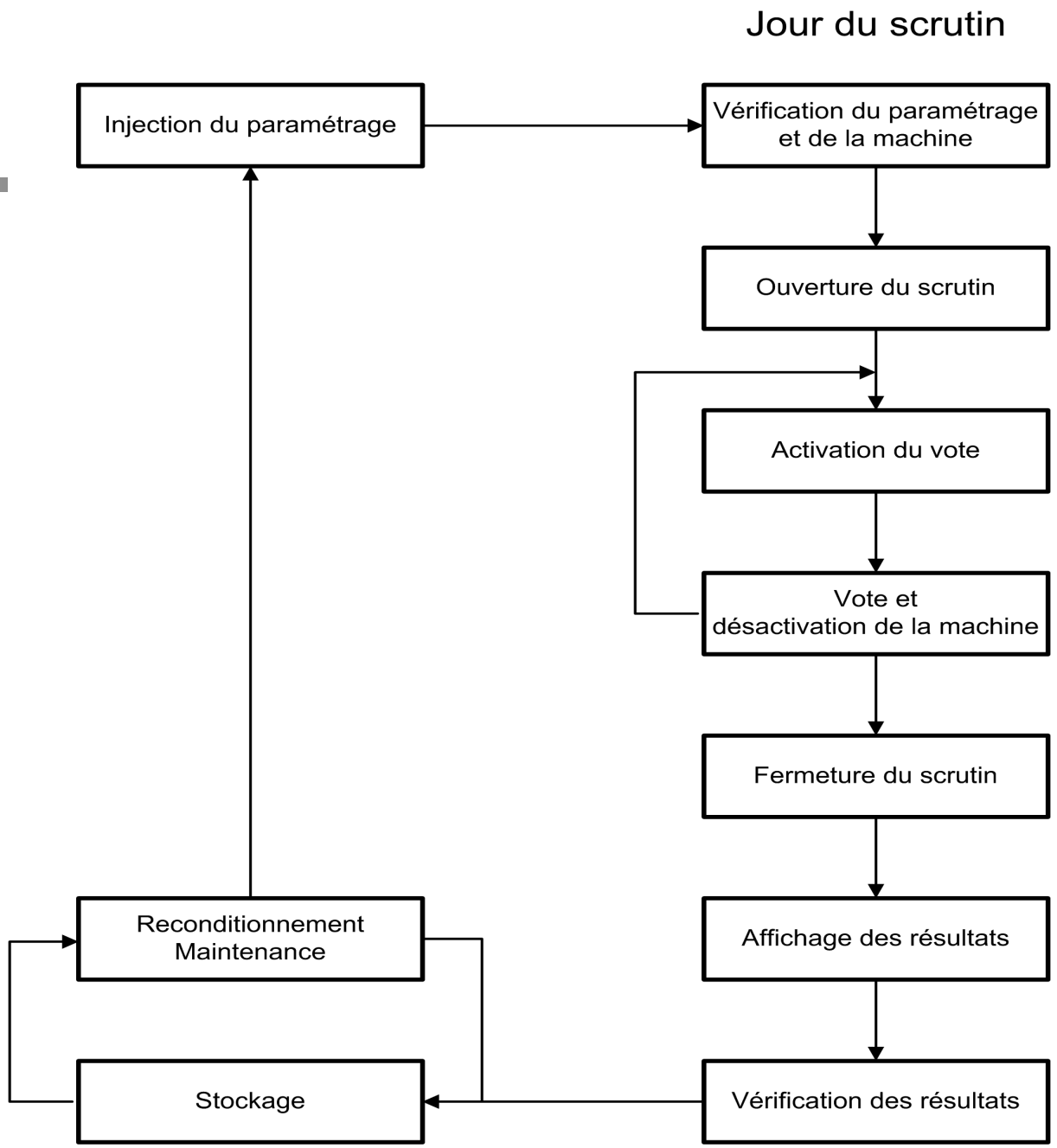
- Ne participe pas au décompte des voix
  - ✓ Aucun chiffrement dans le dépouillement du scrutin
- Sert à vérifier les certifications cryptographiques
  - ✓ De l'automate
  - ✓ Du fichier d'interface homme-machine
- Dispose pour cela d'un affichage autonome et indépendant de l'interface de vote
  - ✓ Une simple diode verte suffit !
  - ✓ L'idée est que le module doit pouvoir afficher que tout va bien
- Ce module est sécurisé.
- Ses fonctions sont publiques.
  - ✓ Mais son code interne n'a pas besoin de l'être
  - ✓ Ses dispositifs de sécurité physique ne sont pas publics
- Il est évalué et certifié, avec le reste de la MàV
  - ✓ Selon un processus qui préserve le savoir-faire des fabricants

Sécurité physique

- La protection logique est assurée par le module cryptographique
- Elle est complétée par des mesures de sécurité physique
  - ✓ Scellé externe numéroté inspectable visuellement
    - ➢ Protège contre l'ouverture de la MàV et l'accès aux mémoires
  - ✓ Capot interne transparent
    - ➢ Protège l'accès aux composants électroniques assurant la sécurité logique de la machine (notamment le module cryptographique)
    - ➢ Protège les connecteurs des interfaces de la machine (écran, clavier, console déportée du président du bureau de vote)
  - ✓ Scellé interne numéroté
    - ➢ Protège contre l'ouverture du capot transparent
  - ✓ Deux clés physiques distinctes
    - ➢ Permettent au président et à l'un de ses assesseurs d'activer les opérations sensibles de la machine.

Le jour J

- Vérification du paramétrage
- Déroulement du scrutin
- Fermeture du scrutin
- Affichage des résultats
- Vérification des résultats



Vérification de la machine à voter

- Les modes de vérification actuels n'étaient pas satisfaisants
- Le nouveau mode de vérification s'appuie sur :
  - ✓ La preuve formelle *a priori* des logiciels
  - ✓ La certification cryptographique de ces logiciels
  - ✓ La vérification de cette certification le jour J
  - ✓ Le contrôle *a posteriori* de l'intégrité physique de la machine
  - ✓ L'existence d'un cahier de suivi de chaque machine
- Juste avant le scrutin, on vérifie :
  - ✓ Scellé physique externe, autotest du module cryptographique, empreintes cryptographiques des logiciels certifiés et nombre nul de votants
- Juste après le scrutin, on vérifie :
  - ✓ Preuve cryptographique d'origine du résultat du vote, scellé interne, contrôle visuel de la zone de sécurité (par référence au cahier de suivi)

Déroulement du scrutin

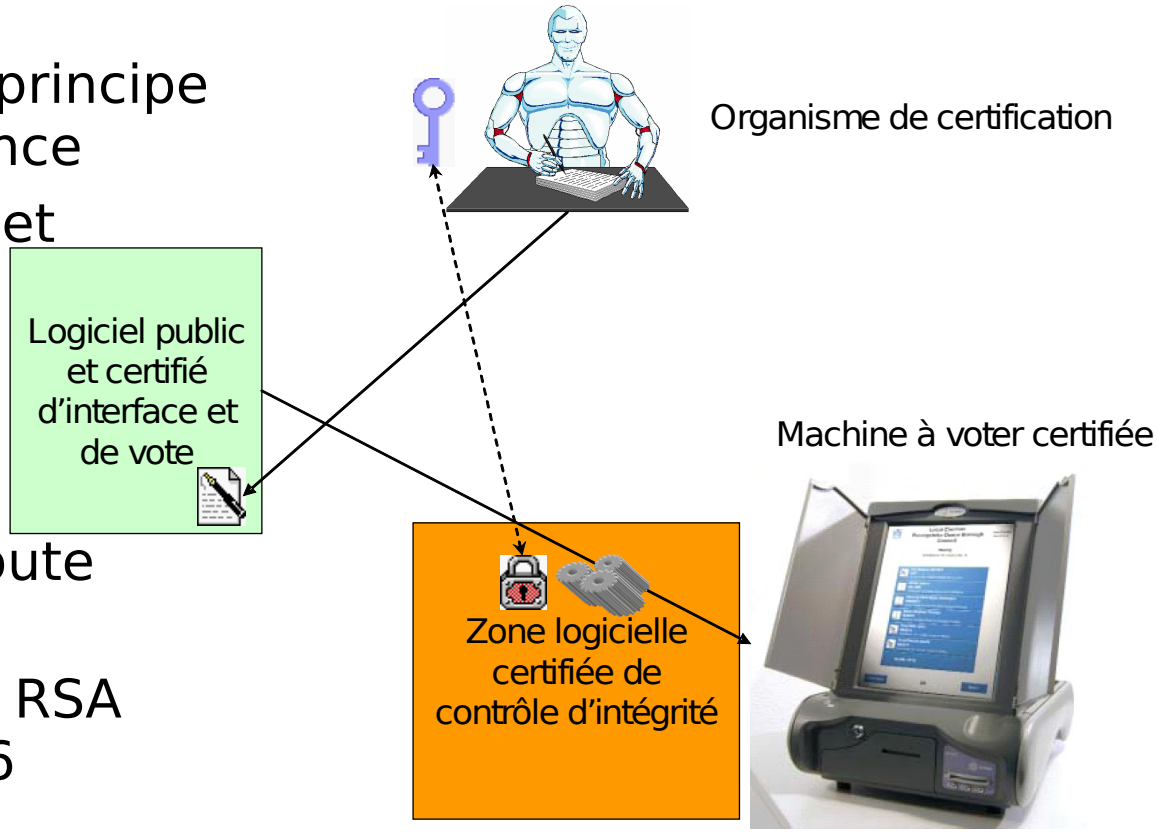
- Déroulement d'un processus de vote :
  - ✓ Le président active un droit de vote après vérification de l'identité
  - ✓ La confirmation du vote désactive automatiquement la MàV
  - ✓ Si un votant ne valide pas son vote
    - ➢ On essaie de le rattraper :-)
    - ➢ Sinon, le président et son assesseur, à distance de la MàV, activent la fonction « vote nul » ; ce point est porté au PV.
- Cas de panne
  - ✓ On met en place une machine de secours
  - ✓ En fin de scrutin :
    - ➢ après vérification de l'intégrité physique des deux MàV.
    - ➢ les mémoires de la machine défaillante sont insérées dans la machine de secours.
    - ➢ La machine de secours affiche (si possible) le contenu des mémoires et la signature cryptographique de la machine défaillante.
- Principe : toute anomalie est consignée au procès-verbal

Le contrôle par le citoyen

- L'agrément des machines suppose une certification de sécurité dont le résultat est public, même s'il n'est pas détaillé.
- En fonction de ses compétences, le citoyen peut vérifier :
  - ✓ Les signatures de l'automate et du fichier d'interface employés
    - ➢ Calcul mathématique
    - ➢ Concordance avec les valeurs publiées par l'administration
  - ✓ Le logiciel d'interface
    - ➢ Tant son contenu...
    - ➢ Que la preuve formelle de son bon fonctionnement
  - ✓ Les résultats affichés
    - ➢ Vérification de la signature de la MàV, même en cas de panne
    - ➢ Contrôle de l'intégrité physique de la machine
      - Concordance des scellés
      - Aspect visuel interne

Usage de la cryptographie

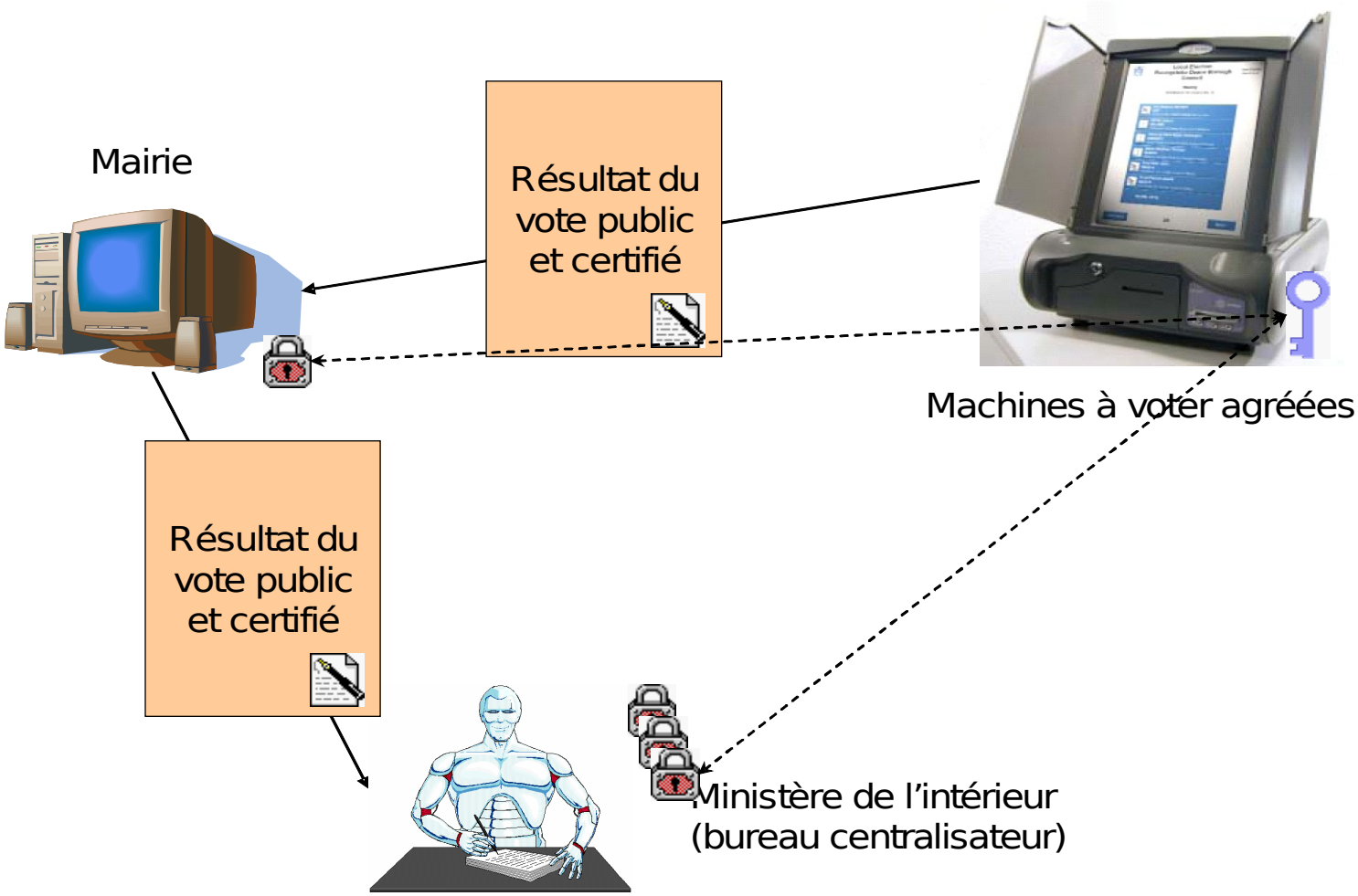
- Pas d'usage en confidentialité
  - ✓ Contraire au principe de transparence
- Assure intégrité et preuve d'origine
- Cryptographie asymétrique « classique »
  - ✓ Pour éviter toute suspicion
  - ✓ Typiquement RSA 2048 ou 4096



Gestion des clés

- Nécessité d'une IGC « minimaliste »
  - ✓ Publication d'un certificat d'autorité racine
  - ✓ Intégré au module cryptographique
  - ✓ Attestant de la vérification « officielle » du logiciel de l'automate
    - ➢ Par exemple, publication au JORF
  - ✓ Protège contre l'introduction d'un logiciel d'interface et de vote non certifié
- Pour le reste, la simple publication des certificats est suffisante pour assurer la possibilité de contrôle
  - ✓ Il suffit que le module cryptographique affiche les éléments pertinents des vérifications de signature.
    - ➢ Empreinte cryptographique de la clé publique
    - ➢ Valeur de la signature
    - ➢ Empreinte cryptographique de la donnée signée

Certification des résultats du dépouillement



Conclusion

- L'architecture de machine à voter proposée permet :
  - ✓ D'améliorer la transparence des opérations de vote sur une urne électronique.
  - ✓ D'améliorer la sécurité des machines à voter par des fonctions élaborées de contrôle d'intégrité et de preuve d'origine.
  - ✓ D'assurer une meilleure traçabilité des incidents de vote :
    - ➢ Vote nul
    - ➢ Panne
- La sécurité obtenue n'est pas absolue
  - ✓ On peut imaginer des scénarios d'attaque
  - ✓ Mais le coût en est important
    - ➢ Chaque machine dispose de sa propre clé cryptographique
    - ➢ Le cahier de suivi assure une traçabilité de la maintenance
  - ✓ Et surtout, une attaque sur le système global paraît improbable