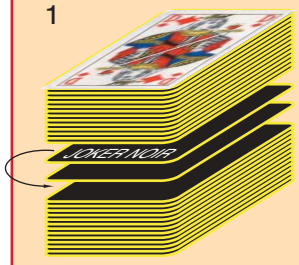
3. LES CINQ OPÉRATIONS POUR OBTENIR LE FLUX DE CLEFS À PARTIR D'UN JEU DE 54 CARTES DANS UN DÉSORDRE CONNU

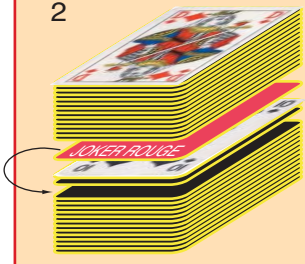
Vous tenez le paquet de cartes dans la main droite, faces vers vous. L'ordre initial du paquet est convenu avec votre correspondant. C'est cet ordre qui constitue la clef de base (voir en figure 4 une méthode pour convenir de cet ordre initial à partir d'une phrase secrète)

1



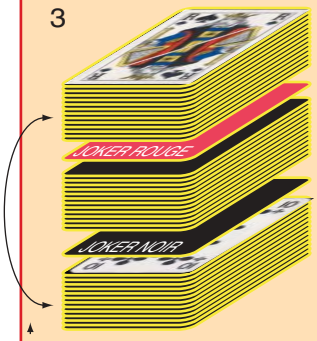
(1) Recul du joker noir d'une position.
Vous faites reculer le joker noir d'une place, (vous le permutez avec la carte qui est juste derrière lui. Si le joker noir est en dernière position il passe derrière la carte du dessus, c'est-à-dire en deuxième position.

2



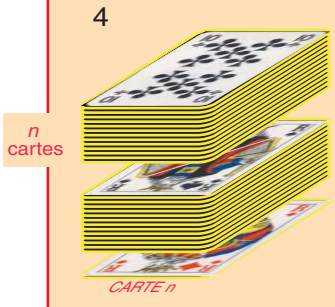
(2) Recul du joker rouge de deux positions.
Vous faites reculer le joker rouge de deux cartes. S'il était en dernière position, il passe en troisième position. S'il était en avant dernière position, il passe en deuxième.

3



(3) Double coupe par rapport aux jokers.
Vous repérez les deux jokers et vous intervertissez le paquet des cartes situées au-dessus du joker qui est en premier avec le paquet de cartes qui est au-dessous du joker qui est en second. Dans cette opération la couleur des jokers est sans importance. Comme pour toutes les opérations on peut faire cette manipulation sans avoir à poser les cartes sur une table.

4



(4) Coupe simple déterminée par la dernière carte.
Vous regardez la dernière carte et vous évaluez son numéro selon l'ordre du Bridge : trèfle-carreau-cœur-pique et dans chaque couleur as, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8, 9,10, valet, dame et roi (l'as de trèfle a ainsi le numéro 1, le roi de pique le numéro 52). Les jokers ont, par convention, tous deux le numéro 53. Si le numéro de la dernière carte est *n* vous prenez les *n* premières cartes du dessus et les placez derrière les autres cartes à l'exception de la dernière carte qui reste dernière. Le maintien à sa place de cette carte résulte de considérations de cryptanalyse.

(5) Lecture d'une lettre pseudo-aléatoire
Vous regardez le numérode la première carte, soit n ce numéro, vous comptez n cartes à partir du début vous regardez la carte à laquelle vous êtes arrivé (la *n*+1-ième), soit *m* son numéro. Si c'est un joker vous refaites une opération complète de mélange et de lecture (1-2-3-4-5). Si *m* dépasse 26 vous soustrayez 26. Au nombre entre 1 et 26 ainsi obtenu est associée une lettre qui est la première du flux de clefs servant à coder votre message selon la méthode : message + flux de clefs = message codé. Vous la notez sur un papier (que vous n'oublierez pas de brûler ensuite). L'opération de lecture ne modifie pas l'ordre du paquet de cartes. Vous procédez de la même façon pour avoir la deuxième lettre du flux de clefs. Lorsque vous en avez un nombre suffisant vous pouvez coder votre message.

Quand la première lettre est obtenue, vous mélangez à nouveau en appliquant des opérations 1-2-3-4, et l'opération 5 de lecture vous donne une seconde lettre etc... De cette façon vous disposez d'un flux de clefs aussi long que vous le souhaitez ce qui vous permet de coder votre message selon la méthode de l'addition d'une clef au message :
Message+ Flux de Clefs=Message Crypté

Le décodage se fera en partant du même paquet de cartes initial (la clef de base partagée) qui permet à votre correspondant de reconstituer le flux de clefs que vous avez utilisé, et donc de décoder le message en utilisant l'équation :
Message Crypté – Flux de Clefs=Message

Pour un opérateur un peu entraîné la méthode de Schneier demande moins d'une minute de codage par lettre du message et autant pour le décodage. Une erreur de manipulation dans le déroulement des opérations compromet définitivement toute la partie du message qui est située au-delà de l'erreur. Il est donc conseillé d'opérer deux fois le codage de façon à s'assurer qu'aucune erreur n'est commise. L'algorithme peut bien sûr être programmé et exécuté par un ordinateur, cependant il a été conçu pour ne demander qu'un jeu de cartes sans même avoir à poser les cartes sur une table, uniquement en faisant attentivement des manipulations élémentaires que l'on mémorise sans peine.

La garantie fournie par la méthode de Schneier n'est pas absolue (comme presque toujours en cryptographie mathématique), mais elle est du niveau des meilleures méthodes utilisées aujourd'hui dans le monde bancaire ou du commerce électronique, ce qui veut dire que même un ennemi disposant d'ordinateurs très puissants ne pourra pas, à moins de la découverte jugée improbable d'une technique nouvelle de cryptanalyse, retrouver vos codes sans disposer de la clef de base (l'ordre initial du paquet de carte).

Le nombre de clefs de base possibles est 54! = 0,230 10^{72} soit précisément :
230 843 697 339 241 380 472 092 742 683 027 581 083 278 564 571 807 941 132 288 000 000 000 000

Aucun système informatique envisageable dans un avenir raisonnable ne pourra tester toutes les clefs une par une (méthode d'exploration exhaustive). En effet les calculs les plus longs envisageables aujourd'hui comporte de l'ordre de 10^{22} instructions (c'est déjà plus que les calculs effectués par le projet SETI mettant en jeu des milliers d'ordinateurs recherchant depuis des mois dans les signaux provenant du ciel des traces de vie extraterrestre). L'essai d'une clef de *Solitaire* demande certainement plus 10^{3} instructions, donc même avec des moyens consi-

dérables (réseaux d'ordinateurs puissants) on ne peut pas aujourd'hui explorer plus de 10^{19} clefs. Dans 50 ans si la puissance des ordinateurs double tous les ans (hypothèse optimiste, voir l'article de cette rubrique du mois précédent) en utilisant des moyens de calcul puissants on pourra explorer au plus 10^{34} clefs. Dans un siècle toujours sous les mêmes hypothèses optimistes on pourra explorer 10^{49}, ce qui nous laissera encore loin du compte !

PARTAGE DE CLEFS

Nous avons vu que pour partager la clef de base l'agent Alice et l'agent Bernard ordonnent deux jeux de cartes de la même façon, chacun emportant un exemplaire du jeu avec lui.

Si des messages doivent être échangés plusieurs fois, il faut disposer d'un jeu de cartes par message, ce qui pourrait attirer l'attention ou en tout cas sembler louche aux douaniers fouillant les valises d'Alice ou de Bernard.

Une méthode pour éviter cette difficulté consiste à convenir d'un journal publiant une rubrique de problèmes de Bridge. En fonction du problème proposé dans la rubrique les agents conviennent d'un ordre du paquet initial. Alice et Bernard, décident par exemple que le message envoyé le 3 juin utilisera comme clef de base le paquet de cartes ordonné en prenant la dernière rubrique publiée à cette date dans le *Figaro*, et en considérant la description des cartes distribuées dans l'ordre Nord, Ouest, Sud, Est, les jokers étant placés dans le jeu juste derrière les deux cartes dont le nom est mentionné en premier dans le commentaire du problème.

Une troisième méthode de partage de clef est particulièrement intéressante car elle pourra être utilisée encore plus facilement. Alice et Bernard conviennent d'une phrase clef (par exemple la première phrase du premier article de la page 3, de *Libération*). Ensuite, à partir de cette phrase, ils vont chacun de leur côté créer un paquet de cartes désordonné en procédant de la manière suivante :

– prendre le paquet de 54 cartes ordonné selon l'ordre du Bridge, suivi des deux jokers ;

– effectuer les opérations de mélange 1, 2, 3 et 4 ;

– prendre la première lettre de la phrase clef, par exemple *D* (dont le numéro est $n = 4$), et effectuer une coupe en faisant passer les n premières cartes du paquet derrière les autres à l'exception de la dernière qui le reste ;

- effectuer les opérations de mélange 1, 2, 3, et 4 ;

- prendre la deuxième lettre de la phrase clef, etc.

4. UN SYSTÈME INFAILLIBLE?

Reprenant une proposition de Ueli Maurer et fondée sur l'idée que les supports mémoires des ordinateurs ne peuvent pas stocker des quantités de données très importantes, un système cryptographique, parfait en théorie, a été décrit par Michael Rabin et Yan Zong Ding il y a quelques semaines.

Ces deux chercheurs de l'Université de Harvard ont imaginé un système utilisant un satellite qui émettrait en continu des données aléatoires (sous forme de chiffres binaires ou de lettres) en telle quantité que leur enregistrement ne serait pas envisageable. Lorsque Alice voudrait envoyer un message crypté à Bernard, elle lui communiquerait par message crypté (selon un procédé traditionnel, dont le décryptage, s'il est possible, prend nécessairement du temps) un numéro de milliseconde qui fixerait l'endroit, dans le flux continu émis par le satellite, où il faut commencer à lire la clef aléatoire. Bernard, prenant connaissance immédiatement de ce point de repère, lirait lui aussi la clef aléatoire émise par le satellite et déchiffrerait donc le message codé en soustrayant la clef que le satellite émettrait, du message qu'Alice lui communiquerait (le cryptage et de décryptage pourraient se faire de manière quasi simultanée).

Pour un adversaire, le décodage serait définitivement impossible, car même s'il réussissait à décrypter le message de synchronisation (codé par une méthode traditionnelle), cela prendrait un certain temps pendant lequel, ne pouvant enregistrer le flux de données aléatoires émis en quantité trop volumineuse, il laisserait passer définitivement la possibilité de connaître la clef utilisée.

Plus intéressant encore, une fois la communication effectuée entre Alice et Bernard, ceux-ci n'auraient aucune raison de garder la clef dans la mémoire de leur ordinateur et donc ils l'effaceraient, rendant impossible tout décryptage ultérieur (même par eux, même sous la menace d'un tiers ou les injonctions d'un juge ou de la police).

Avec un tel système dont la sécurité serait mathématiquement garantie (car en définitive basée sur le principe du masque jetable), la cryptographie aurait atteint une sécurité absolue... ce qui ne plairait pas à tout le monde.

5. EXTRAIT DU ROMAN DE NEAL STEPHENSON

Dans le roman de Neal Stephenson, le Solitaire est appelé Pontifex. La traduction du livre de Neal Stephenson chez Payot-SF en est cours. Merci à Jean Bonnefoy de nous avoir autorisé à utiliser cet extrait de sa traduction avant même sa sortie en librairie.

La carte du dessus est un huit de pique. En l'écartant, ainsi que plusieurs autres, il tombe sur un joker avec des étoiles noires uni aux quatre coins; d'après les indices déjà livrés par Enoch, il s'agit du joker A. En un rien de temps, il le glisse sous celle du dessous, qui se trouve être le valet de trèfle. Aux deux-tiers environ de la pile, il trouve un joker décoré d'étoiles noires à fond blanc. B comme blanc, donc il sait qu'il s'agit du joker B ; il le déplace de deux cartes, pour l'insérer entre le six de trèfle et le neuf de carreau. Il regroupe le jeu et le déploie à nouveau, y introduit les doigts pour récupérer les valets et se retrouve avec une bonne moitié de la pile -- toutes les cartes situées entre les jokers, plus ces derniers -- coincée entre index et majeur. Il écarte alors les deux autres piles, celle du dessus et celle du dessous, pour les intervertir. Enoch observe ce manège et semble approuver.

Randy extrait à présent la carte du dessous de la pile, qui s'avère être le valet de trèfle. Se ravisant, il la sort et la pose provisoirement sur son genou, pour ne pas s'emmêler dans la phase suivante. D'après les symboles mnémotechniques qu'il a marqués sur ses ongles, la valeur numérique de ce valet est tout simplement de 11. Donc, en partant du dessus, il compte les cartes jusqu'à la onzième de la pile, coupe en dessous, puis intervertit les deux moitiés, et finalement reprend le valet de trèfle posé sur son genou pour le remettre sous la pile.

La carte du dessus est à présent un joker. « Quelle est la valeur numérique d'un joker?» demande-t-il et Enoch Root de répondre : « Cinquante-trois, pour chacun des deux.» Donc, ce coup-ci est nul : Randy sait que s'il compte les cartes depuis le début, quand il arrivera à 53, il contemplera la dernière de la pile. Et il se trouve que cette carte est le valet de trèfle, valeur 11. Onze est donc le premier nombre de la clé....