



HAL
open science

Computer Paper Construis ton propre ordinateur de papier

Marc Monticelli, Jean Lassègue

► **To cite this version:**

Marc Monticelli, Jean Lassègue. Computer Paper Construis ton propre ordinateur de papier. 2012.
hal-00932320

HAL Id: hal-00932320

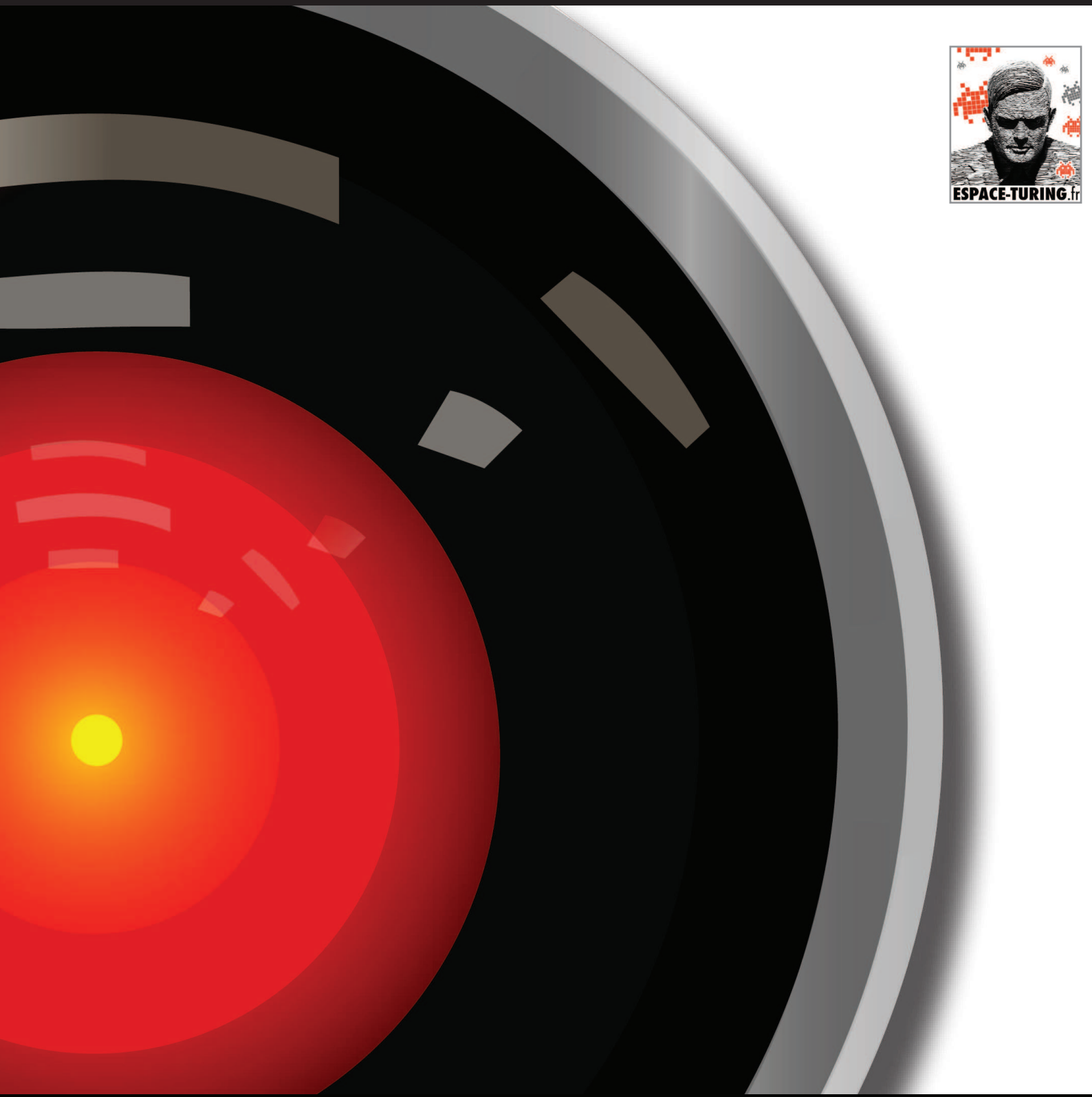
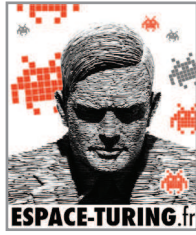
<https://hal.science/hal-00932320>

Preprint submitted on 16 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMPUTER PAPER

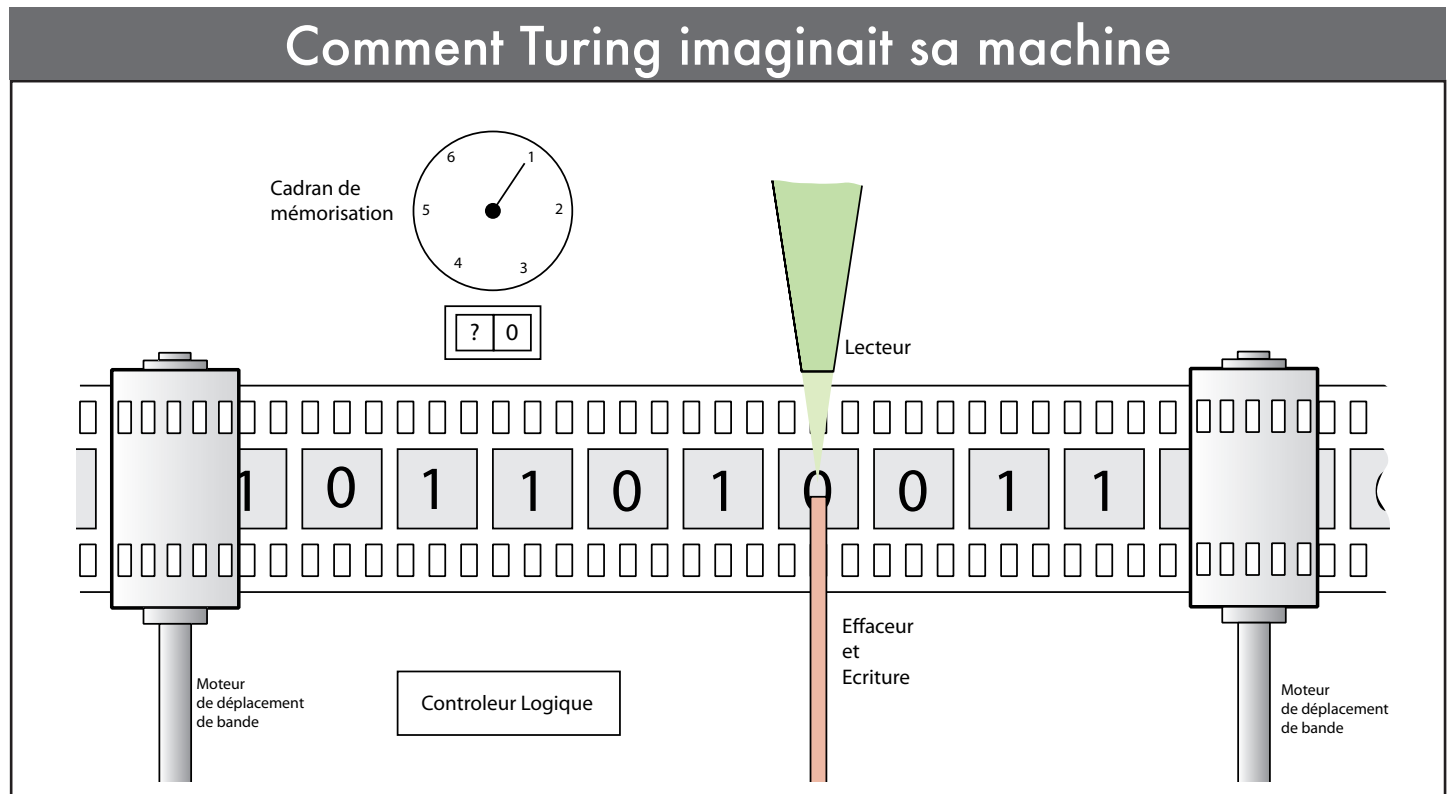


“Do It Yourself”
CONSTRUIS TON PROPRE ORDINATEUR

www.espace-turing.fr

MACHINE de TURING

Dans un article qui fera date, «*On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem*» datant de 1936, Alan Turing, jeune mathématicien anglais, jette les bases de ce qui deviendra la théorie de la calculabilité en répondant par la négative à la question de savoir si toute proposition peut être démontrée dans un système formel. Pour ce faire, il imagine une machine à calcul universelle ... en papier.



Cette machine est composée d'un «ruban» supposé infini, chaque case contenant un symbole parmi un «alphabet fini»; d'une «tête de lecture/écriture»; d'un «registre d'états»; d'une «liste d'instructions».

L'ordinateur - théorique - est né !

Turing définit le calcul sous la forme d'une liste finie d'instructions, itérables un nombre indéfini de fois. Il vient de poser les fondements de la science informatique. Il n'a que 24 ans !

Construire une machine universelle en papier

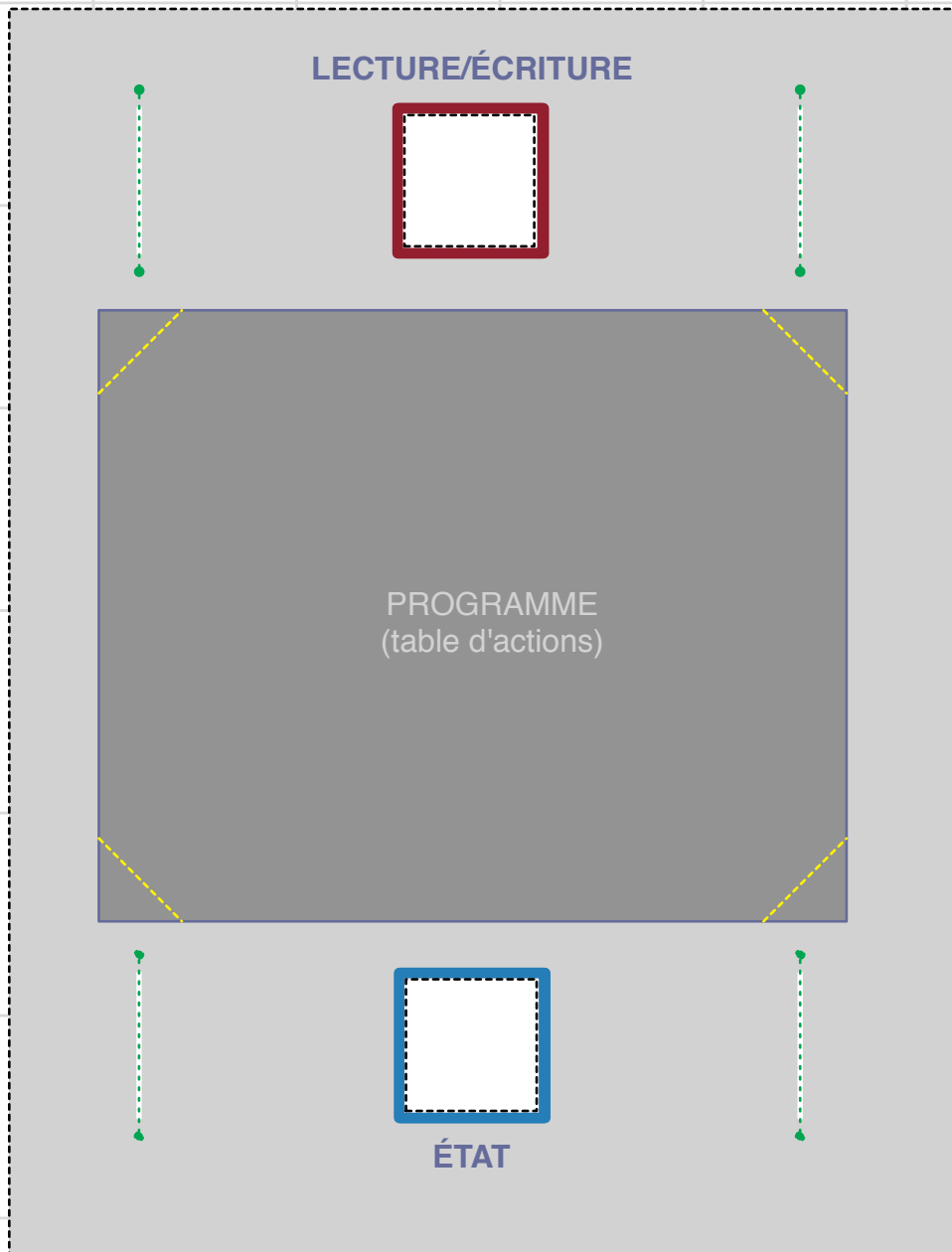
Pour le centenaire de sa naissance, nous vous proposons de faire un voyage dans le temps, en construisant votre propre ordinateur en papier, à la manière d'Alan Turing il y a 76 ans.

Pour cela, vous aurez besoin d'une règle ; un cutter ; des ciseaux.
Et pour exécuter les programmes d'un crayon et d'une gomme.

DÉCOUPAGE

Découper selon les pointillés :

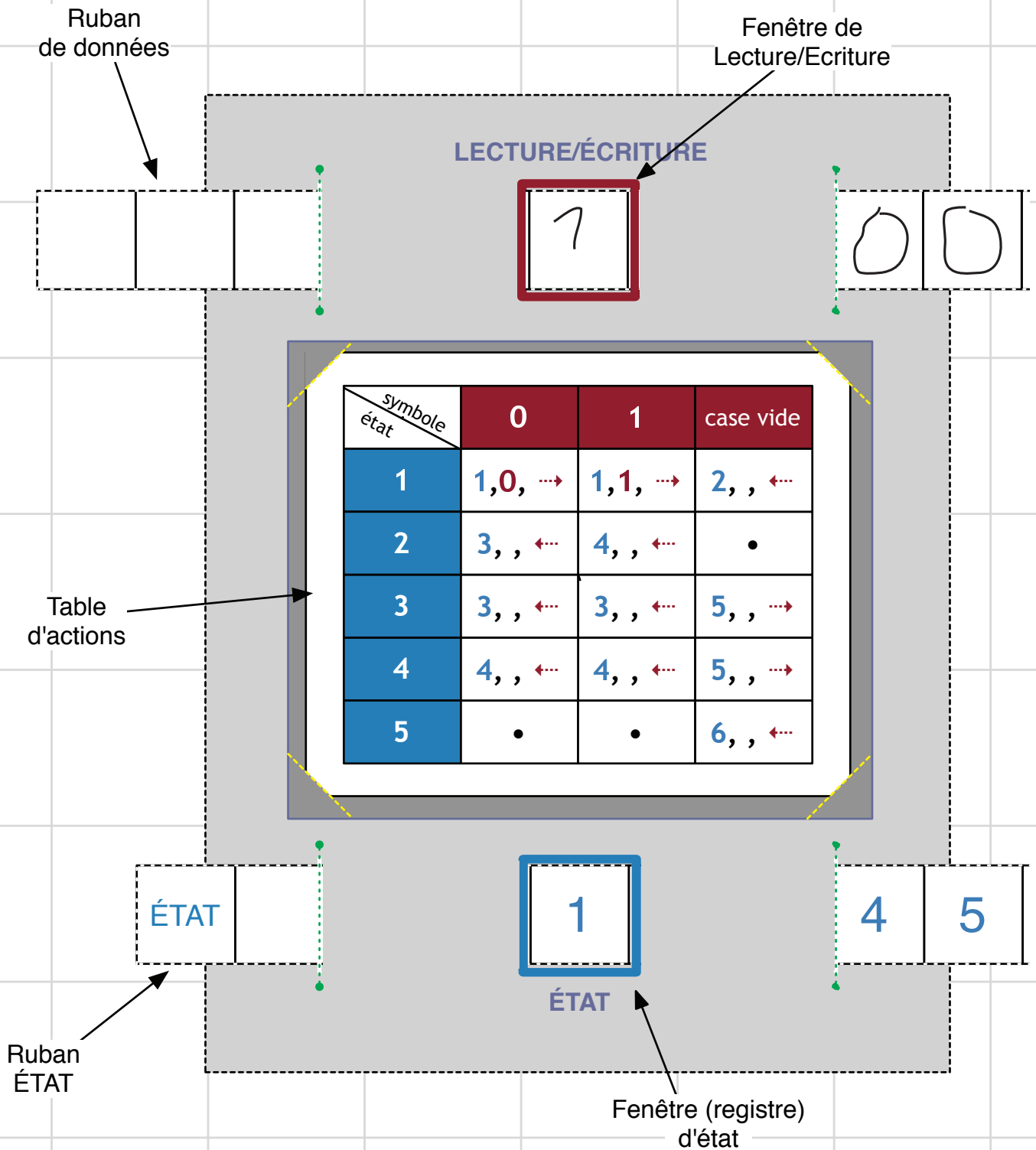
- La "machine" grise
- L'intérieur du carré rouge
Pour lire et écrire la valeur des données
- L'intérieur du carré bleu
Pour lire l'état de la machine (registre d'état)
- Les 4 fentes vertes
Pour positionner les rubans
- Les 4 fentes jaunes
Pour positionner le programme
- Ruban avec la liste des "ETATS" possible
- Ruban vierge
Pour écrire les données



ÉTAT	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
ÉTAT	

MONTAGE

- Placer le ruban "ÉTAT" de façon à laisser apparaître le premier état "1" dans la fenêtre bleue
- Positionner la table d'actions (programme) au centre
- Ecrire au crayon les données sur un ruban vierge
- Positionner ce ruban de façon à laisser apparaître la première case écrite dans la fenêtre rouge



FONCTIONNEMENT

- 1 - Lire dans la fenêtre bleue la valeur de l'état de la machine.
- 2 - Chercher dans la table d'action la ligne correspondante.
- 3 - Lire dans la fenêtre rouge le symbole (ou la valeur).
- 4 - Chercher dans la table d'action la colonne correspondante.
- 5 - On obtient un couple (**état**, **symbole**) ou (**ligne**, **colonne**) auquel correspond un action.

Cette action est composée de 3 éléments :

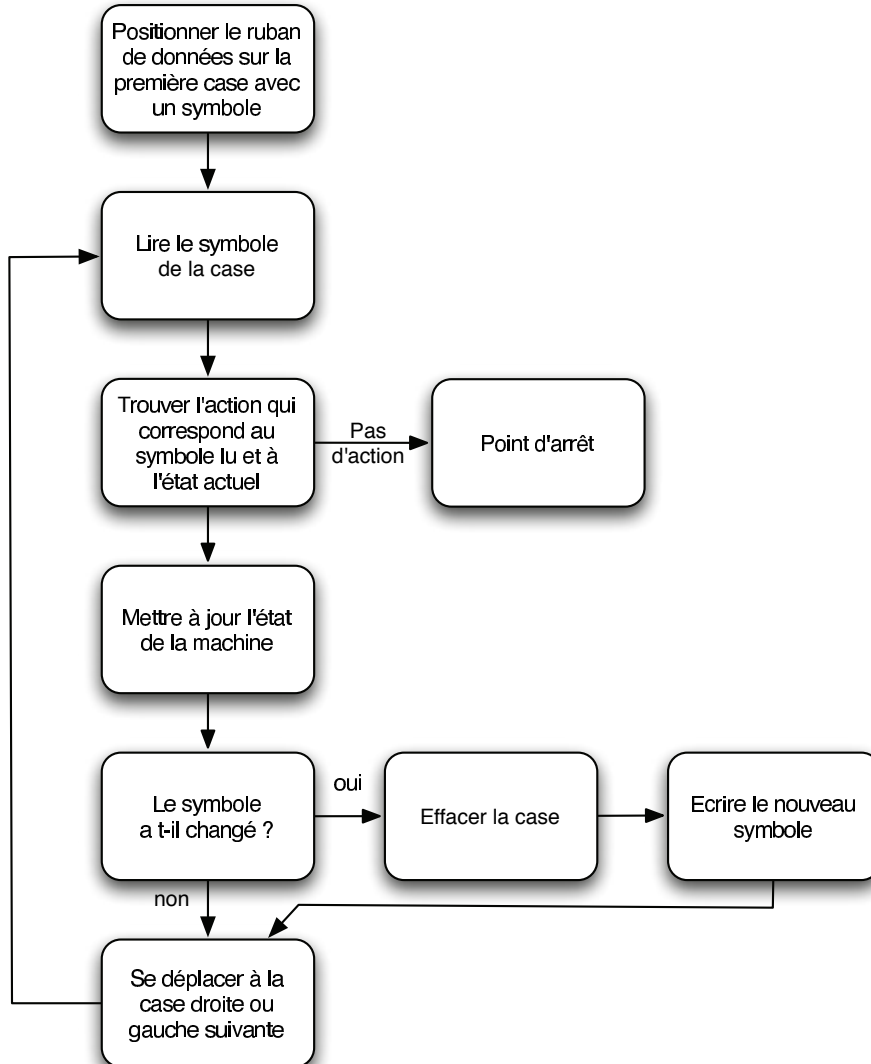
- Le nouvel état de la machine (en bleu)
- Le symbole à écrire si nécessaire sur le ruban des données (en rouge)
- Le déplacement d'une case à gauche ou droite du ruban des données.

Prenons l'exemple : **3,1, ←**

C'est à dire : Etat = **3** ; Donnée = **1** ; Déplacement gauche

- 6 - Déplacer le ruban ETAT pour faire apparaître **3** dans la fenêtre (bleu) d'état
- 7 - Si le symbole de la fenêtre rouge est **1** (identique à celui qui doit être écrit) passer directement à l'étape 9,
sinon effacer le symbole dans la fenêtre (rouge) de données
- 8 - Ecrire le nouveau symbole **1** dans la fenêtre (rouge) de données
- 9 - Déplacer d'une case à gauche le ruban de données
- 10 - Retourner à l'étape **1**

Le programme s'arrête quand on tombe sur une action vide : • .



EXEMPLES DE PROGRAMMES

3 "programmes" (tables d'actions à découper)

Calcul Minimal

Ce programme remplace le symbole \circ par le symbole \square de gauche à droite. Quand un case vide est rencontré, le programme s'arrête.

symbole état	case vide	\circ	\square
1	\square	1, \square , \rightarrow	\square
2	\square	\square	\square

Calcul sans arrêt

Ce programme remplace le symbole \circ par le symbole \square en se déplaçant de gauche à droite jusqu'à tomber sur un case vide. Puis remplace de droite à gauche le symbole \square par le symbole \circ jusqu'à tomber sur une case vide, puis recommence dans l'autre sens, ...

symbole état	case vide	\circ	\square
1	2, \leftarrow	1, \square , \rightarrow	\square
2	1, \rightarrow	\square	2, \circ , \leftarrow

Test si un nombre est pair

symbole état	0	1	case vide
1	1, 0, \rightarrow	1, 1, \rightarrow	2, , \leftarrow
2	3, , \leftarrow	4, , \leftarrow	\square
3	3, , \leftarrow	3, , \leftarrow	5, 1, \rightarrow
4	4, , \leftarrow	4, , \leftarrow	5, 0, \rightarrow
5	\square	\square	6, e, \leftarrow

Rubans vierges à découper pour vos données

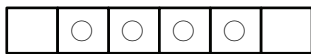
Rubans vierges à découper pour vos données

DÉROULEMENT DES PROGRAMMES

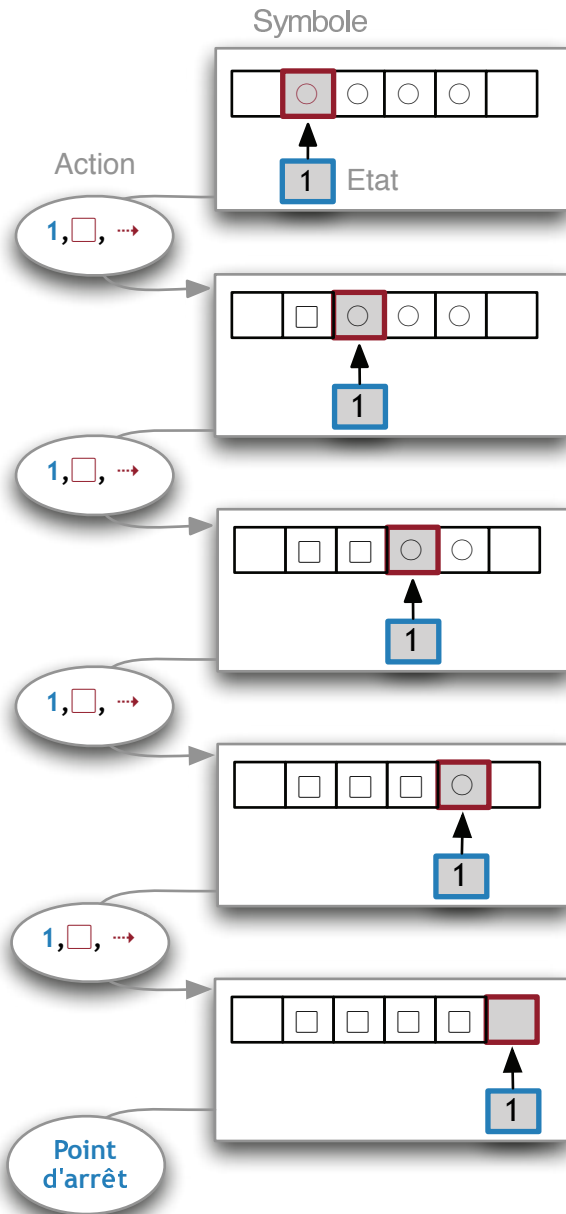
"Calcul" Minimal

symbole état	vide	○	□
1	□	1, □, →	□
2	□	□	□

A - Ecrire sur un ruban vierge plusieurs symboles ○



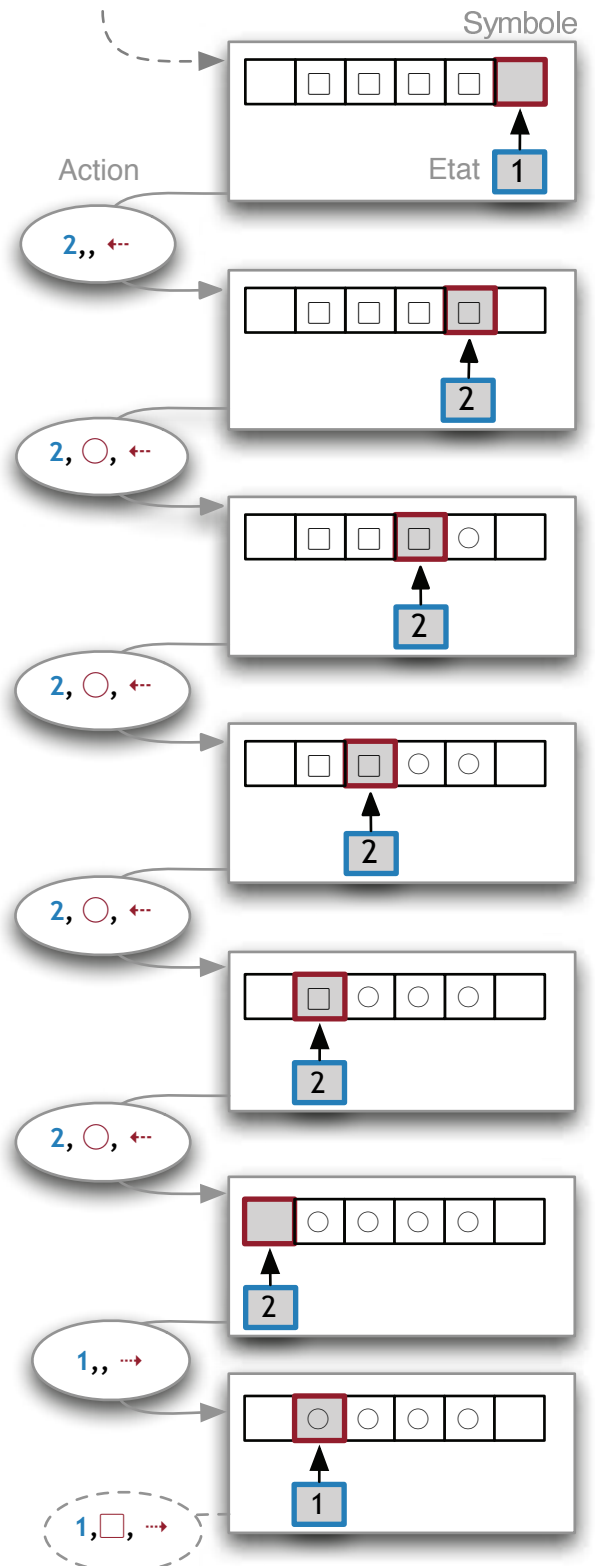
B - Exécuter le programme



"Calcul" sans arrêt

symbole état	vide	○	□
1	2, , ←	1, □, →	□
2	1, , →	□	2, ○, ←

Tout se passe comme dans le cas précédent jusqu'à rencontrer une case vide ...



DÉROULEMENT DES PROGRAMMES

Détermine si un nombre est pair

Entrée : un nombre sous forme binaire

Sortie : 1 si le nombre est pair, 0 si le nombre est impair

symbole état	0	1	case vide
1	1,0, →	1,1, →	2, , ←
2	3, , ←	4, , ←	□
3	3, , ←	3, , ←	5,1, →
4	4, , ←	4, , ←	5,0, →
5	□	□	6, , ←

CODAGE DES CHIFFRES EN BINAIRE (4 bits)

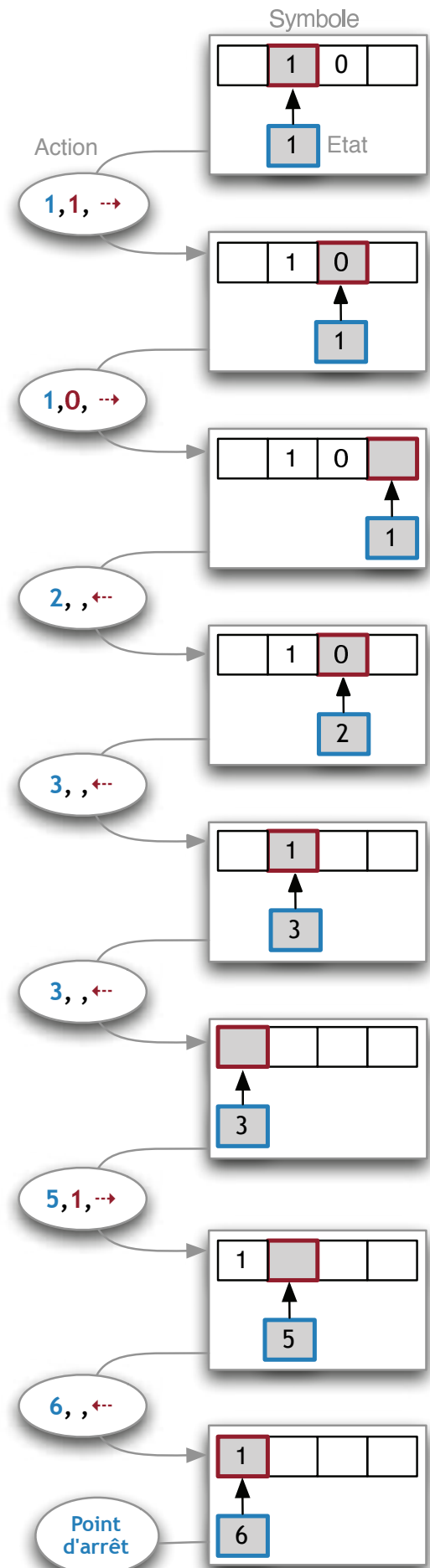
Nombre	position 3 $2^3=8$	position 2 $2^2=4$	position 1 $2^1=2$	position 0 $2^0=1$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0

Exemple

Décimal : $7 = 4 + 2 + 1 = 2^2 + 2^1 + 2^0$

Binaire : 0111

DÉROULEMENT
pour le chiffre 2
10 sous forme binaire



CHRONOLOGIE DE LA VIE DE TURING

23 juin 1912 - Naissance à Londres le 23 juin d'Alan Mathison Turing, fils de Julius Mathison Turing et de Ethel Sara, née Stoney

1912 à 1921 - Alan et son frère aîné John sont élevés par une famille d'accueil en Angleterre; leurs parents vivent en Inde, où le père est fonctionnaire colonial; ils ne voient leurs enfants qu'occasionnellement.

1926 - Entre à la Public School Sherborne

1931 - entre au King's College de Cambridge pour suivre des études de mathématiques.

1933 - Hitler arrive au pouvoir, exil des intellectuels d'Allemagne puis d'Europe centrale.

1934 - Turing obtient une Licence de mathématiques avec mention

1935 - Devient Fellow de King's College après sa «dissertation» sur le théorème central limite en calcul des probabilités

1936 - Prouve le résultat négatif de la décidabilité (Entscheidung) proposé par D. Hilbert.

Part pour Princeton travailler avec A. Church et J. von Neumann,

1936 - Parution de « *Sur les nombres calculables avec une application à l'Entscheidungsproblem* »

dans les Proceedings of the London Mathematical Society. Obtient la bourse Procter à Princeton ; Von Neumann lui propose de rester l'année suivante à Princeton et de devenir son assistant.

1938 - Retour en Angleterre. Suit un cours de cryptologie à la Government Code and Cypher School (GCCS).

4 Sep 1939 - Début de la guerre: il entre au service du GCCS à Bletchley Park. Travaille au décodage des messages radios des sous-marins allemands faisant le blocus de l'Angleterre.

1941 - Se fiance puis rompt avec Joan Clarke

1942 - Devient Chief Research Consultant pour le GCCS; se rend secrètement aux États-Unis pour entrer en contact avec le service de cryptologie américain. Aurait été consulté pour un certain nombre de points touchant la bombe atomique.

1943 - de janvier à mars aux laboratoires Bell sur des questions de cryptage de la parole; rencontre de C, Shannon.

1944 - Travaille à sa machine électronique de codage de la parole, Delilah 1

1945 - Fin de la guerre en Europe

1945 - Commence à concevoir son projet de « construire un cerveau ». Entre au National Physical Laboratory à Teddington pour construire un prototype d'ordinateur, l'Automatic Computing Engine (ACE).

1947 - Quitte le N. P. L. pour des raisons théoriques et administratives. Retourne pour un an à Cambridge. Suit des cours de physiologie et de neurologie.

1948 - Entre dans l'équipe d'informatique de l'Université de Manchester pour travailler sur le prototype d'ordinateur devenu opérationnel en juin.

1950 - Publication de « Computing Machinery and Intelligence » dans la revue philosophique Mind.

1951 - Est élu Fellow de la Royal Society

1951 - Procès et condamnation pour homosexualité; doit choisir entre la prison et la castration chimique.

Fév. 1952 - Subit un traitement hormonal

1952 - Publication de son article « La base chimique de la morphogenèse » dans les Philosophical Transactions of the Royal Society. Etudes phyllotaxiques.

Oct 1952 - Début de sa cure psychanalytique (jungienne).

7 Jun 1954 - Se suicide le dans sa maison de Wimslow par ingestion d'une pomme ayant macéré dans du cyanure.

1966 - Création du prix Turing (ACM Turing Award)

10 Sep 2009 - Reçoit des excuses posthumes du premier ministre britannique Gordon Brown

23 Jun 2012 : Célébration du centenaire de la naissance Alan Turing



Alan Turing, 1928 © Snelbenn School



Espace-Turing.fr / computer-paper.org
Laboratoire de Mathématiques J.A. Dieudonné CNRS-UNS
Contact : marc.monticelli@unice.fr

Document : Jean Lassègue (CREA) et Marc Monticelli (LJAD)