

**AFSCET**

Entretiens 2018 à l'ENSAM Paris.

*Systemique, Intelligence Artificielle et Vie Artificielle.*

\*

**La Vie Artificielle, source de bienfaits  
ou inquiétante réalité militaro-industrielle ?**

[www.asso.afscet.asso.fr](http://www.asso.afscet.asso.fr)

**Jean-Paul Bois-Magnac**  
Vice président de l'AFSCET

***Remerciements à***

**François Anceau et Alexandre Makarovitsch**

pour les très pertinents commentaires qu'ils ont bien voulu  
m'adresser suite à ma présentation aux Entretiens de l'AFSCET 2018.

Cette version, destinée à la publication, leur en est largement redevable.

***Comme la **vie**, la **vie artificielle** est protéiforme !***

Ses champs de recherches s'étendent dans de multiples directions ...

... et cette présentation n'a pas l'ambition de présenter un état de l'art ...

... juste quelques **aperçus**.

Même si une forte **parenté** existe entre l'**IA** et la **VA**,  
celle-ci développe des applications qui lui sont propres.

Moins **médiatisées** que l'IA, elles méritent  
néanmoins d'être mises en lumière ...

*... et elles ne sont pas moins sources de **questionnement** !*

## *Un problème de frontières ...*

Il n'est pas toujours facile de délimiter les frontières entre la *Bionique*, la *Robotique Coopérative*, la *Vie Artificielle*, ...

Convenons dans un premier temps que leur point commun est d'être "*bio inspirées*".

## *La « Bio-inspiration ».*

De nombreuses réalisations pratiques trouvent une solution en s'inspirant de la nature.

Par cette approche, on escompte des gains en termes de matière, d'énergie, d'information.

***Des réalisations aussi variées que nombreuses :***



Le **Velcro**, imaginé par l'ingénieur suisse *George de Mestral*, à partir de l'observation d'une graine de **Bardane ...**



Le **bulbe** des navires  
Inspiré des dauphins



Les **Winglets** en bout d'ailes  
inspirés des rémiges des rapaces

Et la recherche en informatique a elle aussi largement puisé dans **la bio inspiration ...**

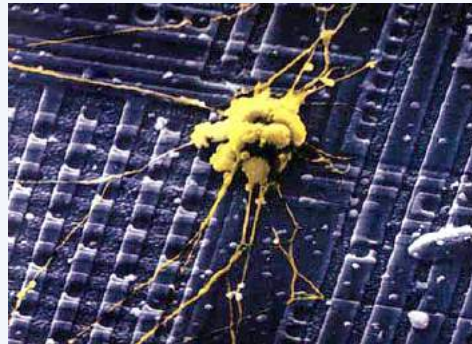
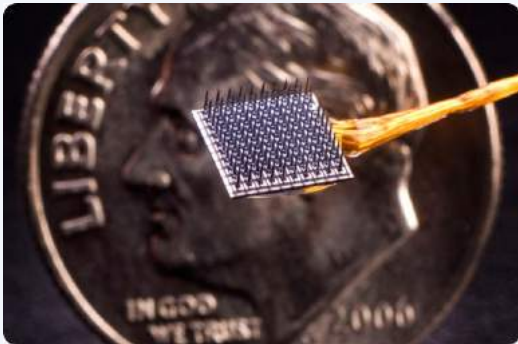


Par exemple, les algorithmes de moindre chemin  
inspirés du déplacement des fourmis ...

*Avant de recentrer cette présentation sur la VA, un mot sur la bionique et les recherches « neuromorphiques » ...*

**C'est le mariage de la biologie et de électronique, neurones et circuits intégrés.**  
(IMS/CNRS de Bordeaux, EPFL de Lausanne, Max Planck Institute, Université de Padoue)...

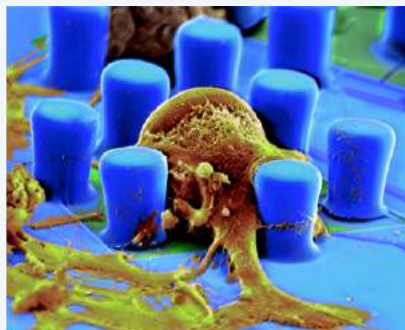
*Projet de "neuropuce"*



L'objectif, produire **des prothèses neuronales**  
pour traiter des **troubles** ou des **défaillances neurologiques** :  
*Perte de la vision, section de la moelle épinière, Parkinson...*



**Le problème : les neurones ont la bougeotte !**



**Ils doivent être fixés sur le circuit intégré ...**

*Un **systeme** se réclamant de la vie artificielle devrait :*

- être **autonome** (mobilité, décision...)
- être en **interaction** avec son environnement.
  - conduire à **l'émergence** de propriétés nouvelles

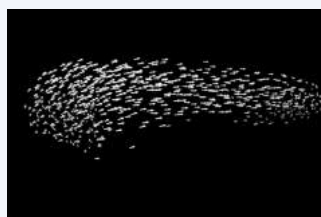
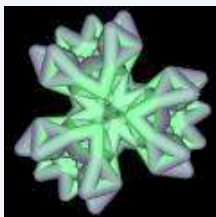
**Et, dans le meilleur des cas, capable de se répliquer...**

*D'un point de vue général, les recherches en Vie Artificielle visent :*

- à fournir une **meilleure compréhension**  
des **mécanismes biologiques**

- à développer des **principes "vitaux"**  
à partir d'**artefacts** :

-> boïds, robots, animats, androïdes ...

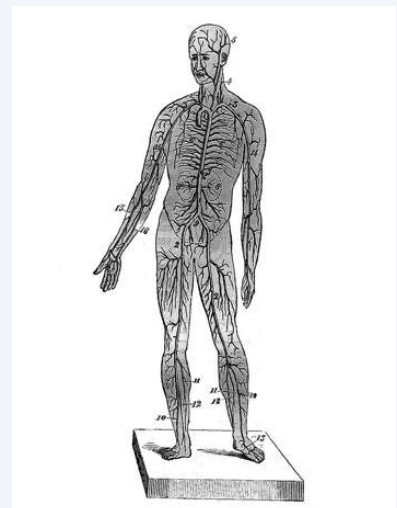
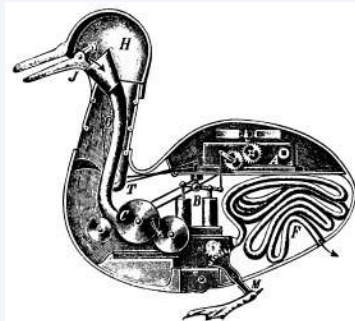
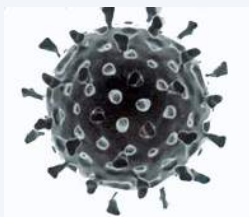






*L'objectif de la VA : reproduire les formes de la vie,  
des plus simples aux plus complexes ...*

**Des virus à l'homme, en passant  
par les animaux .**



***Seuls les virus informatiques remplissent aujourd'hui toutes les conditions de la VA !***

Cette **forme auto-répliquative** (des automates cellulaires) possède en effet toutes les propriétés des **virus biologiques** :



- ils nécessitent un « hôte » (l'ordinateur)
- ils disposent d'un mécanisme de répllication (lignes de code)
- ils utilisent un vecteur de propagation (réseaux informatiques, clés USB)

***Les sources de la Vie Artificielle ...***



Très tôt, dans le sillage de *l'Intelligence Artificielle*  
et de ses pionniers, **Turing, Minsky, Shannon, McCarthy**,  
des chercheurs en informatique se  
sont attachés à concevoir les conditions  
d'une *Vie Artificielle* ...



En tant que **discipline**, la “**vie artificielle**”  
débuta en 1984 au Center for Non-Linear  
Studies du Los Alamos National Laboratory  
avec les travaux **de Christopher G. Langton**.

Selon Langton, la V.A. devrait étudier :

*“ la vie telle qu'elle pourrait être et non  
telle que nous la connaissons aujourd'hui ”*

## *Les automates cellulaires, prémisses de la VA ...*

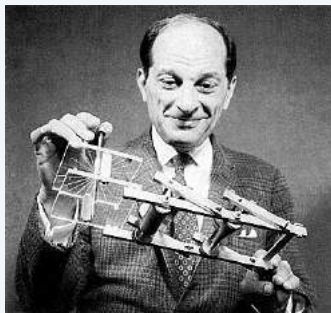
En 1948, **John von Neumann**, réfugié aux Etats-Unis dans les années trente, avait publié une « **Théorie Générale et logique des automates** ».

Question centrale : « **une machine peut-elle se reproduire ?** »



Un automate auto-reproducteur doit comporter une unité baptisée « **constructeur universel** », capable de fabriquer n'importe quelle machine (cellulaire) à partir d'**une description formelle**.

*Un premier pas vers une vie artificielle ...*



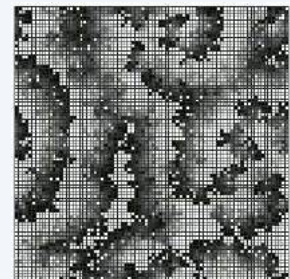
*Stanislaw Ulam  
(1892-1945)*

C'est le mathématicien **Ulam**, inventeur de la méthode dite de **Monte-Carlo** et collègue de von Neumann, qui établit le modèle formel du « **réplicateur universel** » ...

En **1952**, la description de l'automate Auto-reproductif était terminée ...

**Von Neumann** avait imaginé une version utilisant 29 types de cellules différentes !

Mais la **complexité** de l'automate rendait son implémentation irréaliste. Von Neumann abandonna alors ces recherches.



Le «père» des **automates cellulaires** ...



En 1966, dans son ouvrage consacré au problème de l'auto-reproduction, **Arthur W. Burks** forgea le terme **d'automates cellulaires** :

***Theory of self-reproducing automata***

Par la suite, ces recherches prirent une tournure plus concrète et débouchèrent sur la simulation de formes **vivantes** ...

En 1970 à Princeton, le mathématicien **John Horton Conway** utilisa des **automates cellulaires** pour simuler des cellules vivantes.

C'est le fameux "**Jeu de la vie**" ...



Principe :

la "vie" est jouée sur une grille

extensible dans toutes les directions.

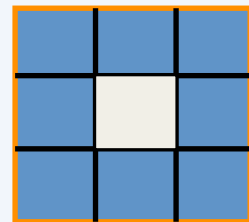
L' algorithme simulera des « populations »,

**e.g. bactéries, cellules vivantes, forêts ...**

*Le principe des automates cellulaires, des règles simples, faciles à implémenter en machine :*

A chaque **génération**, une cellule sera “vivante” ou “morte” selon la nature des cellules adjacentes (8) :

- \* une cellule isolée ou avec seulement une voisine (dans les 8 directions possibles), meurt.
- \* une cellule ayant 2 ou 3 voisines, survit.
- \* une cellule ayant plus de 3 voisines, meurt (étouffement, surpopulation).
- \* enfin, si 3 cellules entourent une case vide, elles donnent naissance à une nouvelle cellule ...



Avec les **automates cellulaires**,  
on reste dans des **modélisation formelles**,  
sans « **chair** » ...

Peu à peu, les réalisations de la « **Vie** » artificielle  
prirent un aspect plus “**biologique**” ...

*Par exemple, le projet Biota ([www.biota.org](http://www.biota.org)) au début des années 2000...*



Un **Poisson Ange** artificiel, destiné à évoluer dans un **biotope artificiel** ...



... où évoluent des « **créatures** » virtuelles, prédateurs, proies .....

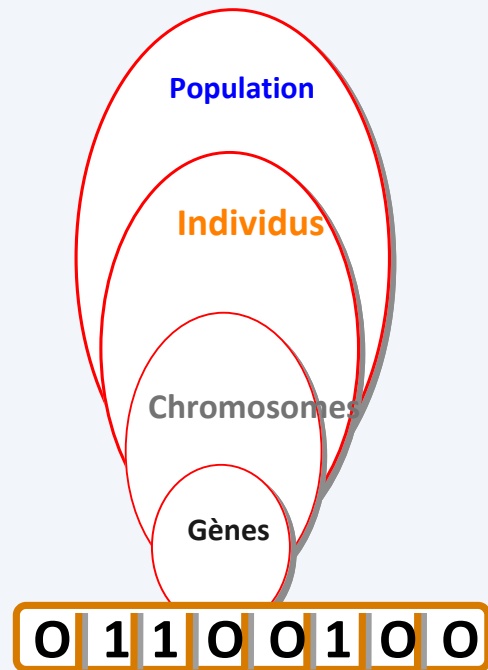
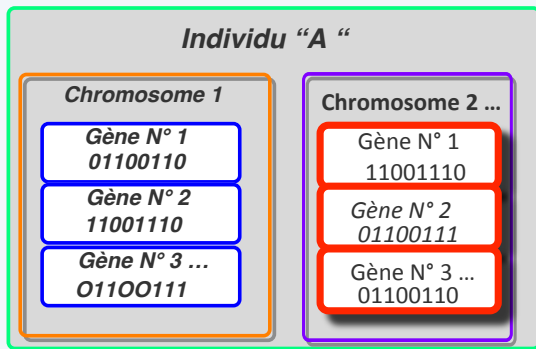
Dans l'esprit, sinon dans la lettre,  
au moins dans le giron  
des disciplines **bio-inspirées**,  
les **Algorithmes génétiques** ...





La “logique” du vivant est reproduite par des artefacts, de simples mots binaires ...

En soumettant une population de “gènes” aux aléas de la « **sélection naturelle** », il est possible de réaliser des **optimisations sans modèle mathématique sous-jacent** ...



### Etapes de la mise en œuvre des AG :

1/ Création de la **population initiale** (tirage aléatoire)

2/ Evaluation du **degré d'adaptation** des individus

3/ Sélection d'« **enfants** » à partir de « **parents** »

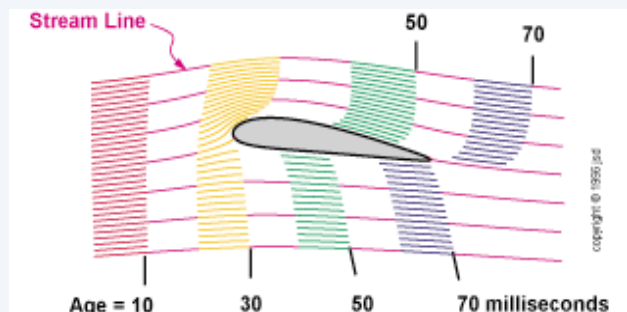
4/ Simulation des croisements et des mutations

Et **bouclage** sur l' étape 2 tant que le résultat **n' est pas satisfaisant** ...

Simple dans le principe mais “**opaques**” et **convergeant souvent lentement** au prix **d'une importante capacité de calcul** ...

Une application : *calcul d'un profil d'aile d'avion ...*

**Problème** : obtenir la meilleure **portance** à basse vitesse et la meilleure **finesse** à grande vitesse.



Une série de **coordonnées** (x,y) décrira un **profil**,  
chaque point de l'aile étant représenté par un gène ...

L'approche AG consiste à faire évoluer cette « population » d'ailes en ne conservant  
au fil des **générations** que les éléments satisfaisant au mieux au critère de départ.

*Du « mou » au « dur » ...*

*Des algorithmes génétiques  
au hardware reconfigurable...*

*Le défi, implémenter «en dur» des applications logicielles.*

C'est la voie développée dès 1994 par  
le **Pr Daniel Mange** de l'**EPFL de Lausanne**, doter  
le hardware de propriétés propres à la vie  
comme la cicatrisation ...

Cette discipline est connue sous le vocable de  
**hardware reconfigurable** ou **évolutif** (Evolvable hardware en anglais).

Application **de Hardware évolutif** à l'EPFL :

Le projet d'**Embryonique** du Pr Mange à base de **FPGA\*** visait à conférer  
à un afficheur électronique certaines propriétés des organismes biologiques,  
telles que la croissance et la tolérance aux pannes ...



Le **BioWall**, réalisé dès 2002  
à l'EPFL, comptait heures,  
minutes, secondes, et se  
reconfigurait seul malgré  
la **destruction** (simulée)  
de ses cellules.

\* Réseau Logique Programmable

Sans entrer dans des détails, soulignons la puissante synergie émergeant de l'implémentation d'**algorithmes génétiques** dans des **Circuits logiques FPGA** ...

*Technique mise en œuvre :*

une **population de gènes** est générée en même temps que l'on prépare des **FPGA** vierges. Chaque **gène** est introduit dans ces circuits pour être testé sur le prototype. Les meilleurs sont conservés.

*Il ne reste plus qu'à réitérer l'opération en créant une nouvelle génération jusqu'à obtenir le gène le plus efficace.*

*Des applications industrielles et médicales mêlant AG et Evolvable Hardware ...*



Aspirateurs robots ...

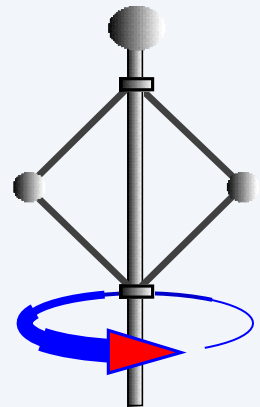
\* Tetsuya Higuchi. Japan National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*Et quid des **robots autonomes** et/ou **coopératifs**,  
des **animats** et autres **androïdes** ?*

*Rappelons que la branche **robotique** de la VA  
a puisé son inspiration dans la **Cybernétique** :*

- Première cybernétique :  
le principe des « **boucles de rétroaction** »

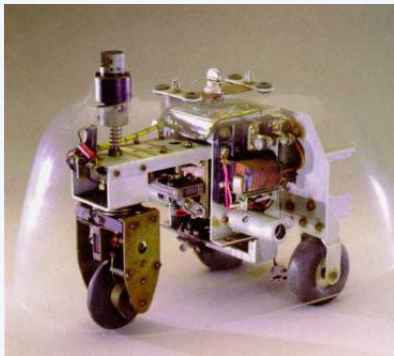
- Seconde cybernétique :  
théorie de l' **auto-organisation**





Dès **1948**, le neurophysiologiste **Grey Walter** construisait deux « **tortues cybernétiques** », ancêtres de nos **animats** ...

Cet assemblage d' **électronique** et d'**électromécanique** se déplaçait en fonction des **sources de lumière** et savait trouver une prise pour **recharger ses batteries** ...



L' **innovation** ( après 1950 ) :

- autonomie de comportement
- mini réseau neuronal ( 2 neurones
- processus d' apprentissage ...



Grey Walter soudant **Elsie**, l'un des deux robots. L'autre était **Elmer**.

## **Robotique et vie artificielle (suite)...**

Les réalisations de **robotique industrielle** restent des **servo-mécanismes**, au sens de la première cybernétique, plus que des systèmes doués d'**autonomie** tels que nous les concevons aujourd'hui.



**La VA dotera les robots**  
**d'autonomie** ...



*Et la robotique devint « coopérative » ...*

Un **robot isolé** ne peut pas extraire ce tube du sol...



... mais en faisant appel à un « collègue » il le sort **en deux prises successives...**

**Une première réalisation de robotique coopérative:  
le chien *Aibo* de Sony (2004) ...**



Cliché Jean-Paul Margnac



Cliché Jean-Paul Margnac

*L'équipe du **Computer Sony Laboratory** de Paris  
animée par **Frédéric Kaplan** (Octobre 2004)*

A l'apogée de son développement industriel la **firme SONY** anticipait le vieillissement de la société japonaise et de ses besoins **d'animaux de compagnie** et/ou de **monitoring** ...

***Nao, le successeur androïde  
d'Aibo dans les bras de son papa...***

Conçu par la société française **Aldebaran Robotics** en 2007, ce petit robot humanoïde de 4kg a été construit à plus de **10.000 exemplaires** et vendu dans plus de 70 pays.

*Tout comme le **chien Aibo**, il était principalement destiné aux instituts de recherche et d'enseignement.*

Participant dès 2007 à la **RobotCup**, une compétition de robots footballeurs, il a contribué à affiner les **processus de coopération entre robots** ...



Cliché Jean-Paul Margnac

***La vie, c'est aussi le langage\* ...***

Au-delà du perfectionnement du **processus d'apprentissage** du robot de compagnie **Aibo**, l'équipe du **Pr Kaplan** travaillait sur un projet plus ambitieux : **l'émergence d'un langage** ...

*(\* Et aussi le sentiment esthétique -> ROXAME) ...*

*Le projet « Talking Heads » (Luc Steels 1996, Frédéric Kaplan 2004)*

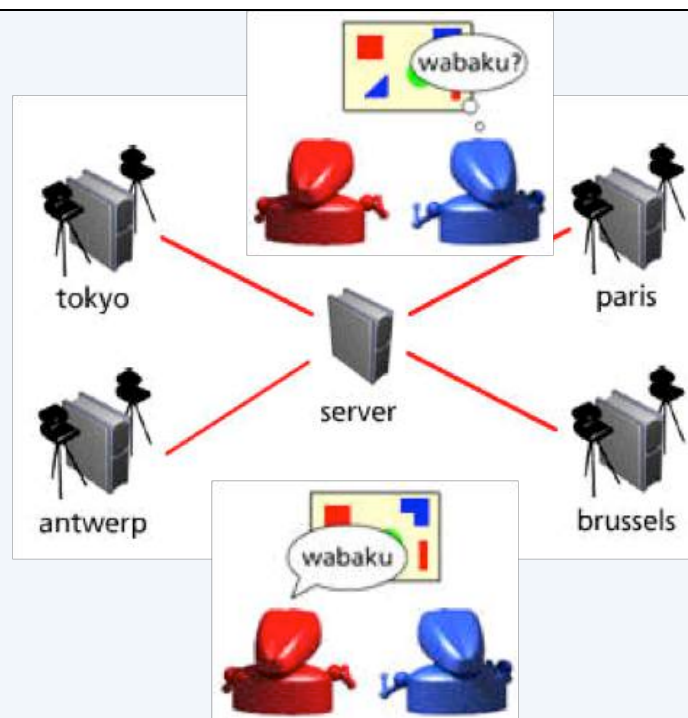
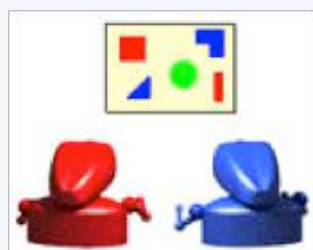
Quatre sites des Laboratoires Sony étaient reliés par le réseau ATN (Aibo Teleporting Network)

L'objectif: faire émerger un vocabulaire commun de la coopération entre les robots.

La manip : *les robots (agents) contemplant un tableau couvert de figures géométriques. Un mot finira par émerger entre les agents pour désigner une figure ...*



## Talking Heads



*Ces recherches se poursuivent à **l'INRIA**  
sous la direction du **Pr Pierre-Yves Oudeyer**.*

Projet de « **Robotique développemental** » ou comment les robots peuvent nous aider à comprendre l'émergence du langage.

<https://www.youtube.com/watch?v=GrFURfx7N0I>

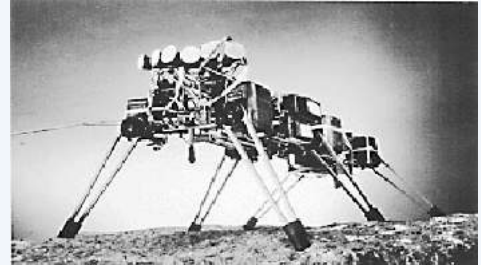
***Avant-dernier volet à évoquer,  
les « **animats** » ...***



## *Les premiers animats ont été créés au MIT*



Dès 1985 **Rodney Brooks**  
postulait :



*Le robot insecte Genghis*

"Si on arrive à construire une machine qui ne sait rien, **a priori**, de son environnement, mais qui est dotée d'une **boucle sensori-motrice** efficace, elle expérimentera et testera sa boucle de réaction/action, jusqu'à la rendre tellement **robuste** qu'après de multiples générations, **elle se débrouillera dans n'importe quel environnement**".

## *Les descendants de Genghis de **Rodney Brooks** au MIT ...*



HECTOR de l'Univ. De *Bielefeld* en Allemagne



*Insecte hexapode de l'EPFL*

## Le défi de la VA : la *coopération en essaim* (Swarm) *des animats*

L'industrie génère des populations à bas coûts de micros et nano animats



Essaim de 1024 **Kilobots** (environ 3cm de  $\phi$ )  
Manip du Pr **Michael Rubenstein**.  
*Harvard Univ. 2014.*



Nano animat conçu par  
**Rolls-Royce** pour l'inspection  
des réacteurs d'avion.

*L'industrialisation de ces équipements permet de les diffuser largement  
auprès des établissements d'enseignement et de recherche \*...*



Le micro animat **Kilobot** de K-Team.

Annonce sur un site commercial  
pour un **pack** de dix unités :

**1 465,00€ TTC**

Dont 0,04€ d'éco-participation

AJOUTER AU PANIER

\* Et accessoirement de créer une émulation  
au sein de cette communauté!

Les recherches sur les *animats* ne portent donc pas seulement sur **leur mode de locomotion** mais aussi sur leur **résilience** et sur leur capacité à **coopérer en essaim** ...



*A propos, une info **anodine** ...*



**Les autorités militaires australiennes travaillent sur un projet de logiciel informatique capable d'animer un essaim d'insectes robots qui serait déployé sur les champs de batailles ...**

La **France** est aussi active au sein de la communauté VA.

*Laboratoires travaillant sur le sujet proprement dit ou sur des projets connexes :*

- Equipe Beagle, INRIA Grenoble Rhône-Alpes
  - INRIA Bordeaux
    - INRIA Rocquencourt
      - LS2N Nantes
        - LIP6 Univ Paris 6 ...

**Le Projet Psikharpax, dirigé par Jean-Arcady Meyer,**  
*(ISIR, UMR, CNRS et Univ. Paris VI - 2009)*

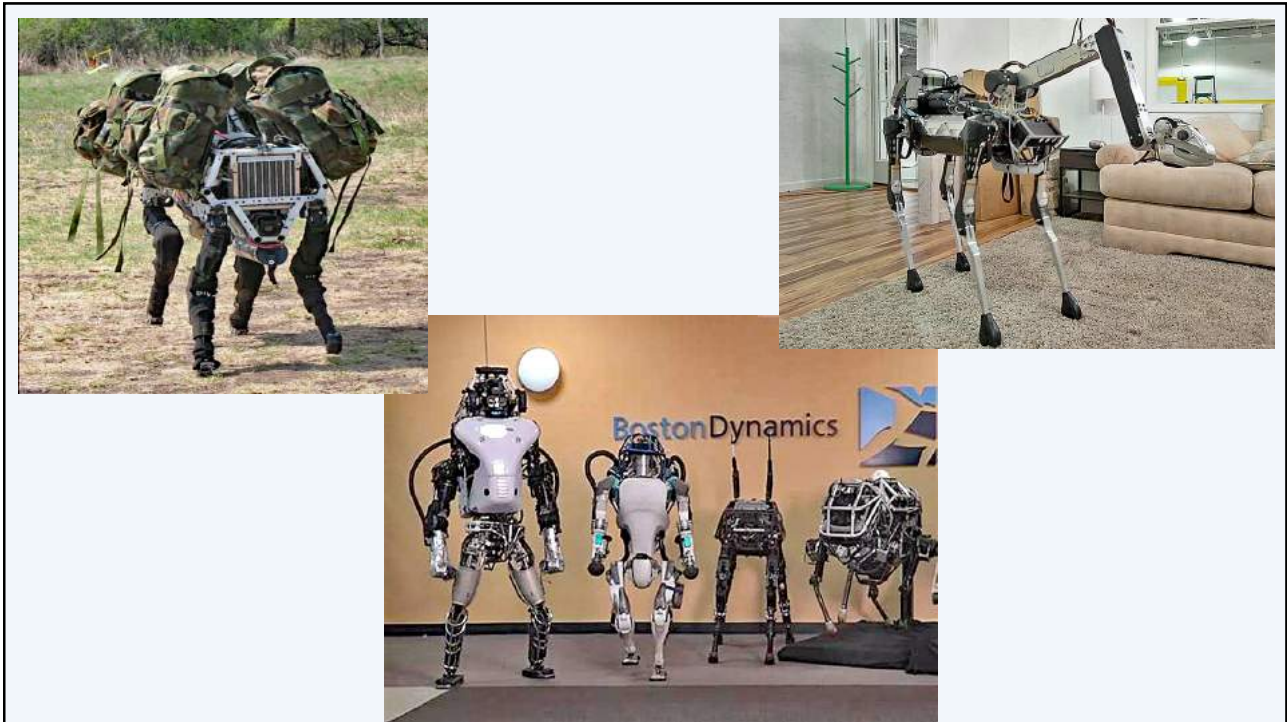
**visait à mettre au point  
un robot-rat artificiel dont l'équipement  
sensoriel et les fonctionnalités sont inspirés du rat.**



**L'objectif était d'utiliser  
le robot comme plateforme  
de test d'hypothèses biologiques  
afin de contribuer à la compréhension  
de ces mécanismes chez les mammifères.**

*En suivant la piste de ces « animats »,  
on pénètre peu à peu dans le « dark side » de la VA ...*

**Des insectes** apparemment inoffensifs  
au **bestiaire** effrayant de **Boston Dynamics** ...



**Boston Dynamics** était une spin-off du MIT,  
spécialisée dans la **fabrication de robots**.

*Rachetée en 2013 par **Google**,  
elle poursuit ses travaux sous l'égide **d'Alphabet**.*

Une partie de son financement provient du **DARPA** ...



A quoi peuvent bien servir ces *animats*  
conçus par une firme financée par le DARPA ?  
**On vous fait un dessin ?**

*Mieux, visionnez quelques vidéos ...*

(De nombreuses vidéos, filmées par Boston Dynamics, sont visibles sur YouTube).

Les **androïdes**,  
ultime étape de la Vie Artificielle  
dans sa quête « **Bio-Inspirée** » ?

*Rassemblez le savoir-faire accumulé  
durant plus de cinquante ans  
en **Intelligence artificielle**,  
en **robotique** et en **Va** et ça donne ...*

Hi! My name is Sophia ...



Sophia durant une « conférence de presse » en 2017 .

... My genitors : Hanson Robotics (Hong Kong) ...

## *SOPHIA, premier robot humanoïde “social” ?*

**Le slogan de Hanson Robotics,  
fondée par David Hanson à Hong Kong :**

**« We bring robots to life » !**

Le « talent » de cet **humanoïde** réside moins dans son aptitude à se déplacer d’une façon autonome qu’à établir une **communication** avec les humains grâce à ses **capacités d’apprentissage**, à la **reconnaissance vocale** et à la **simulation des émotions** sur sa peau artificielle...

<https://www.hansonrobotics.com>

**Rappelons que la capacité à dialoguer de SOPHIA est l’aboutissement d’un processus, initialisé par Joseph Weizenbaum au MIT en 1966, avec ELIZA, le premier *ChatBot* ...**



*Weizenbaum expliquant ELIZA à des journalistes*

```
Welcome to
EEEEEE LL      IIII 2222222  AAAA
EE      LL      II   ZZ  AA  AA
EEEEEE LL      II   222  AAAAAA
EE      LL      II   ZZ  AA  AA
EEEEEE LLLLLL IIII 2222222  AA  AA
```

Eliza is a mock Rogerian psychotherapist.  
The original program was described by Joseph Weizenbaum in 1966.  
This implementation by Norbert Landsteiner 2005.

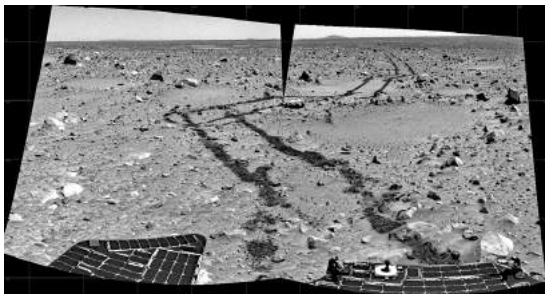
```
ELIZA: Is something troubling you ?
YOU:  Men are all alike.
ELIZA: What is the connection, do you suppose ?
YOU:  They're always bugging us about something or other.
ELIZA: Can you think of a specific example ?
YOU:  Well, my boyfriend made me come here.
ELIZA: Is it important to you that your boyfriend made you come here ?
YOU:  He says I'm depressed much of the time.
ELIZA: I am sorry to hear that you are depressed.
YOU:  It's true. I am unhappy.
ELIZA: Can you explain what made you unhappy ?
YOU:  █
```

*A côté de ces robots autonomes et anthropomorphes,  
**hyper médiatisés**, de nouveaux outils,  
dérivés des recherches en VA,  
sont **conçus pour des tâches spécifiques**.*

- Infirmier humanoïde à tête d'ours  
(pour ne pas effrayer les malades)



*RIBA - 2 (Japon) Inst. RIKEN*



*Navigation autonome de Spirit sur Mars (2004)*

- Rovers pour l'exploration de Mars

- Robots “pompiers” ou résistants aux radiations



Le “PadBot” conçu à Canton (Chine)



Robot IRIANA d’AREVA

- Robots de téléprésence et/ou de monitoring

### Et, une fois encore, un grand nombre de réalisations à visées militaires :

(un marché évalué à 3,2 milliards de \$ en 2015, en progression constante)



HARB “Ballon” tous terrains de la société Guardbot pour missions de surveillance

GhostSwimmer, robot requin démineur, pas encore autonome mais d’autres “poissons” le sont déjà...



## Quels « **bienfaits** » apportent les réalisations de la VA ?



*Aibo de Sony*



*Robot « hôtesse » de la police chinoise*



*Androïde doué de parole ...*

## Au crédit de la VA, de ses « **bienfaits** », **trois domaines** :

- **Celui de la connaissance pure**

e.g. les travaux d'Oudeyer sur le langage ou de Meyer sur la physiologie

- **Celui de la santé, des soins et du bien-être**

e.g. le Robot-infirmier RIBA à tête d'ours (Japon) ou IWARD en GB

- **Celui du remplacement de l'humain dans des tâches dangereuses ou répétitives.**

e.g. les Rovers sur Mars ou les Robots autonomes en milieu irradié.



## Et au débit de la VA, quels « méfaits » ?

Par opposition aux « bienfaits » de la VA, si « méfaits » il y a, il ne se révéleront qu'à long terme ...

Les plus immédiatement **inquiétants** :

- l'utilisation de « **robots tueurs** » sur les champs de bataille ...

Les plus **insidieux** :

- les algorithmes rigoureusement intraçables comme les algorithmes génétiques ou le résultat d'une opération d'apprentissage profond (*Deep Learning*) ...

**Ces troisièmes *Entretiens de l'AFSCET* se sont achevés par un débat animé par *Danièle Bourcier*, directrice de recherche au CNRS et *Paul Bourgine*, Ecole Polytechnique.**

***Les enjeux scientifiques, industriels, législatifs de l'IA et la VA sont-ils pris à leur juste valeur ?***

\*

**Autre temps fort de la vie de l'AFSCET, les "Journées d'Andé".**

***Elles de déroulent tous les ans au Moulin d'Andé (Eure), au mois de juin (voir le programme sur le site de l'AFSCET : [www.asso.afscet.asso.fr](http://www.asso.afscet.asso.fr)).***

Cette présentation est téléchargeable sur :

<https://www.calameo.com/books/00001734933af3160f688>

[Jeanpaul.bois@gmail.com](mailto:Jeanpaul.bois@gmail.com)