



## Calcul vintage

Thierry Dumont

Institut Camille Jordan

28/11/2019



# Introduction

Découverte dans la poubelle de la bibliothèque de mathématiques (UCBL, Lyon) :

- ▶ Actes des congrès de l'AFCAL(TI) en 1960, 61 et 63.
- ▶ Deux tomes de PROCÉDURES ALGOL EN ANALYSE NUMÉRIQUE.

# Les congrès de l'AFCAL(TI).

1960–1963.

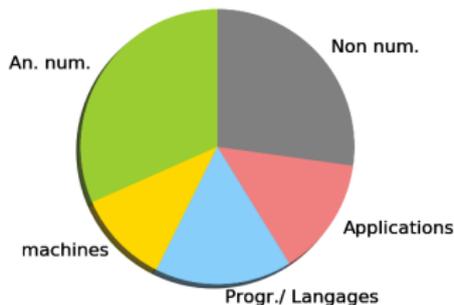
- ▶ AFCAL (J. Kuntzmann, 1957 (ou 1959?)) → AFCALTI (1962)  
→ AFIRO (1969) → AFCET.

Les actes de 1963 annoncent la tenue d'une table ronde sur les EDPs, publiée dans CHIFFRES.

- ▶ Revue CHIFFRES (J. Kuntzmann, 1958) → ... RAIRO → M2AN.

# Les actes

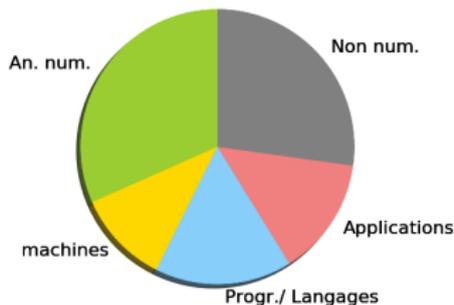
- ▶ **Calcul Scientifique** = Analyse numérique, applications, implantation en machine, machines, nombres flottants.
- ▶ Non numérique : graphes, recherche opérationnelle, traduction automatique, gestion, etc.



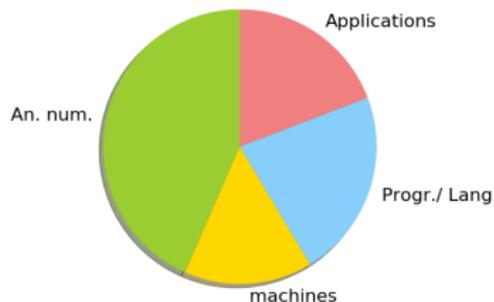
Tout

# Les actes

- ▶ **Calcul Scientifique** = Analyse numérique, applications, implantation en machine, machines, nombres flottants.
- ▶ Non numérique : graphes, recherche opérationnelle, traduction automatique, gestion, etc.



Tout



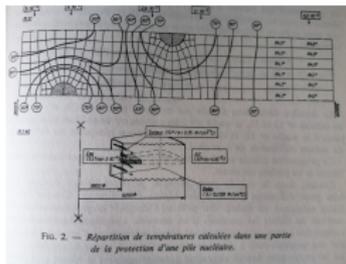
Calcul Scientifique

## Quelques articles pionniers...

- (1961) Guillou et Lago : *Les codes nucléaires : réalisations et projet du service de calcul du centre d'études nucléaires de Saclay.*
  - ▶ Neutronique (approximation diffusive).
  - ▶ Différences finies.
  - ▶ IBM 7040 (32 k mots).
  - ▶ Bande magnétique.
- (1963) Feingold et Larcher (EDF) : *Code nucléaire tridimensionnel JADE.*
  - ▶ Neutronique (approximation diffusive) .
  - ▶ Volumes finis ?
  - ▶ Algèbre linéaire : Tchébycheff.

## Analyse Numérique, applications : quelques articles pionniers / novateurs / « qui avaient de l'avenir ».

- (1963) Marshal et Flesh (Sulzer (CH, Hydraulique)) : *Sur le calcul numérique de distributions de températures en régime stationnaire et instationnaire.*
  - ▶ **Volumes finis** sur des maillages curvilignes.
  - ▶ Idée (non implantée) : raffinement de maillages.
  - ▶ Problème instationnaire : Euler explicite.
  - ▶ Problème stationnaire : relaxation.
  - ▶ Dilemme des VF. : calcul des flux sur les arrêtes ou calcul cellule par cellule.
  - ▶ IBM 1620, 40 K mots. Calculs avec 2000 volumes.



## Analyse Numérique, applications : quelques articles pionniers / novateurs / « qui avaient de l'avenir ».

- (1960) Ceshino (Lab. Armement) : *L'emploi des formules de prédiction correction.*

## Analyse Numérique, applications : quelques articles pionniers / novateurs / « qui avaient de l'avenir ».

- (1960) Ceshino (Lab. Armement) : *L'emploi des formules de prédiction correction.*
  - (1960) Guillou et Lago (Saclay) : *Domaine de stabilité associé aux formules d'intégration numérique d'équations différentielles, à pas séparés et à pas liés. Recherche de formules à grand rayon de stabilité.*
- Abdulle, Abdulle & Medovikov (2001,2002) : méthodes Rock.

## Analyse Numérique, applications : quelques articles pionniers / novateurs / « qui avaient de l'avenir ».

- (1960) Ceshino (Lab. Armement) : *L'emploi des formules de prédiction correction.*
- (1960) Guillou et Lago (Saclay) : *Domaine de stabilité associé aux formules d'intégration numérique d'équations différentielles, à pas séparés et à pas liés. Recherche de formules à grand rayon de stabilité.*  
→ Abdulle, Abdulle & Medovikov (2001,2002) : méthodes Rock.
- (1960). N. Gastinel : *Le principe de simulation d'opérations et ses applications en calcul automatique.*  
-voir la fin de mon exposé!-

## Programmation : quelques articles pionniers / novateurs / « qui avaient de l'avenir ».

### ► **Compilation :**

- (1963) synthèse de L. Bolliet : *L'évolution des techniques de compilation* (exposé général).

### ► **Étendre Algol 60 :**

Propositions :

- (1960) Grasseli (Pol. Milano), McCluskey (Univ. Princeton) : *Une version modifiée d'Algol pour la programmation logique*
- (1963) Lentin (IBP) : *Langages de programmation et information « non numérique »* (Ajouter des chaînes de caractères à Algol).

## Calculateurs utilisés

- ▶ CAB 500 :

Langage *PAF* (une sorte de basic primitif). 16k mots sur une tambour magnétique. 40 ms pour une addition en virgule flottante (25 flops!).

- ▶ IBM 1620 :

*Floating point arithmetic instructions were an available option.*

Cycle :  $20\mu s$ . Les opérations prennent plusieurs cycles.

Mémoire à tores de ferrite.

Programmation en Fortran II (Algol complet difficile à implanter : Edsger Dijkstra ayant montré qu'un seul niveau de *subroutine* est possible sur le 1620).

Compilateur Algol 60 réalisé par Claude Pair.

- ▶ IBM Série 7000.

# Table ronde sur les équations aux dérivées partielles (Congrès AFCALTI, 1963)

CR. publié dans *Chiffres num.* 3 – 1963.

Participants : Lattès, Céa, Guillou etc...

Meneur de jeu : Lattès.

# Introduction de Lattès : état de la recherche.

Énumération des méthodes numériques :

- ▶ Différences finies.
- ▶ Directions alternées (développements en URSS, France, USA).
- ▶ Méthodes graphonumériques (= méthode des caractéristiques).
- ▶ Pseudoviscosité.
- ▶ Galerkin (redonne les diff. finies si...).
- ▶ Méthodes de tir et variantes.

## Communications diverses (travaux en cours ou planifiés)

- ▶ J. Céa : procédé systématique d'écriture de schémas aux différences finies. Etude de la convergence.
- ▶ Dubois (Sud-Aviation) : bibliographie sur la stabilité des schémas.
- ▶ Spohr et Feingold (EDF) : Directions alternées.

## Quelques discussions

Q : (Gastinel) : Influence de l'arithmétique sur la stabilité des schémas ?

R : (Lattès) : personne n'a regardé ça !

## Quelques discussions

Q : (Gastinel) : Influence de l'arithmétique sur la stabilité des schémas ?

R : (Lattès) : personne n'a regardé ça !

Q : (Gastinel) : Quid du choix du test d'arrêt dans les méthodes itératives ?

R : (Lattès) : Un peu hors sujet. On en reparlera une autre fois.

## Quelques discussions

Q : (Gastinel) : Influence de l'arithmétique sur la stabilité des schémas ?

R : (Lattès) : personne n'a regardé ça !

Q : (Gastinel) : Quid du choix du test d'arrêt dans les méthodes itératives ?

R : (Lattès) : Un peu hors sujet. On en reparlera une autre fois.

Q : (Pham) : Galerkin et base de fonctions éventuellement orthogonales ?

R : (Lattès) : C'est Ritz-Galerkin, qui a de l'avenir d'après Feingold. Mais immenses difficultés.

## Conclusion : programme pour le futur, selon Lattès :

- ▶ Comment traiter les problèmes en dimension 3?
- ▶ Comme résoudre les grands systèmes différentiels (« on n'avance pas »).
- ▶ Méthodes itératives pour les systèmes linéaires.
- ▶ Fondements algébriques des directions alternées.
- ▶ Régularisation.
- ▶ Numérotation dans les systèmes linéaires.
- ▶ Expérimenter avec la méthode de Galerkin.

## Conclusion : programme pour le futur, selon Lattès :

« Mr Lattès signale les équations de l'élasticité et de la viscoélasticité. En conséquence les techniques (variationnelles ou autres) susceptibles d'attaquer le problème sont précieuses. »

*The 1964 annual review of NASA's structural dynamics research program revealed that the research centers were separately developing structural analysis software. => NASTRAN en 1965 pour fédérer.*

# JOURNAL OF THE AERONAUTICAL SCIENCES

---

VOLUME 23

SEPTEMBER, 1956

NUMBER 9

---

## Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures

M. J. TURNER,\* R. W. CLOUGH,† H. C. MARTIN,‡ AND L. J. TOPP\*\*

DIFFERENCE SCHEMES BASED ON  
VARIATIONAL PRINCIPLE<sup>①</sup>

基于变分原理的差分格式

§ 1 Introduction

Féng Kāng, article *traduit et publié* en 1965  
(J. of applied and Comp. Mechanics).

# Les « Procédures Algol en Analyse Numérique ».

1967–1970.

1. Analyse.
2. Rejouer, expertiser.

# Les Procédures Algol en Analyse Numérique (1 : Analyse)

1. Contexte.
2. Contenu.
3. Style de programmation, implantation.

## Contexte

- ▶ RCP 30. Responsable : J. Kuntzmann.  
Fin et publication en 1967.  
*Procédures de base.*
- ▶ RCP 136. Responsable : N. Gastinel.  
Publication en 1970.  
*Algorithmes moins standard (Gastinel) :*  
*Ouverture aux thèses et aux études récentes.*

Besançon, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lille, Nancy (1967), IBP (1967), Toulouse (1967).

## 1967 : cadre (Préface de Jean Kuntzmann)

- ▶ outils pour...

- ▶ *...contribuera, nous l'espérons, à promouvoir le langage Algol...*

*« Disons d'abord combien de telles initiatives, amenant des laboratoires éparpillés aux quatre coins de la France à travailler ensemble, sont fructueuses ».*

## 1967 : cadre (Préface de Jean Kuntzmann)

- ▶ outils pour...

- ▶ *...contribuera, nous l'espérons, à promouvoir le langage Algol...*

*« Disons d'abord combien de telles initiatives, amenant des laboratoires éparpillés aux quatre coins de la France à travailler ensemble, sont fructueuses ».*

- ▶ *« Ce travail collectif n'est pas anonyme ».*

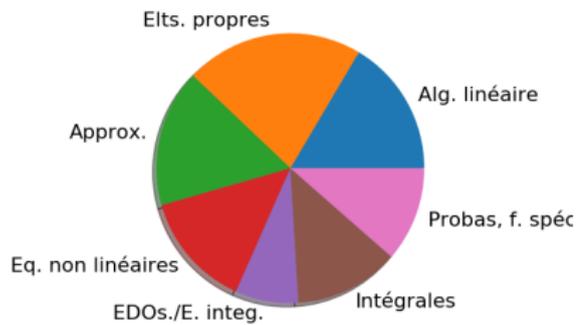
- ▶ Rassemblement / contrôle / critique de programmes existants.

- ▶ Écriture planifiée de nouveaux programmes.

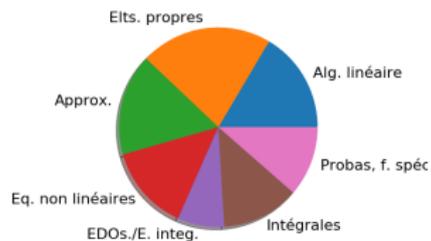
- ▶ Séances de travail pour l'homogénéisation de l'ensemble.

- ▶ Tests *« par de nombreux passages en machine ».*

## Contenu : a) 1967.

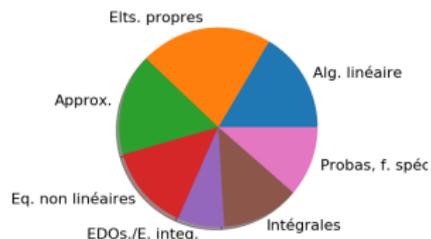


## Contenu : a) 1967.



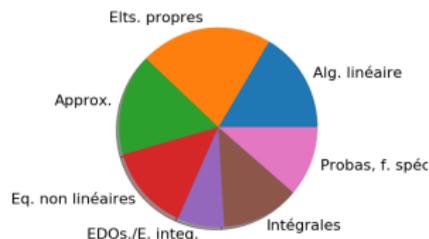
- **Équations non linéaires** : 7/10 : racines de polynômes.

## Contenu : a) 1967.



- ▶ **Équations non linéaires** : 7/10 : racines de polynômes.
- ▶ **Algèbre linéaire** : Gauss, orthogonalisation, Cholesky - Inversion, moindres carrés, pseudo-inverse.

## Contenu : a) 1967.



- ▶ **Équations non linéaires** : 7/10 : racines de polynômes.
- ▶ **Algèbre linéaire** : Gauss, orthogonalisation, Cholesky - Inversion, moindres carrés, pseudo-inverse.
- ▶ **Éléments propres** : toutes les méthodes classiques, LR (Rutishauser  $\simeq 50$ ) (et pas QR Francis  $\simeq 56$ , Kublanovskaya (61)). Pas de SVD (Golub & Kahan (65)).

## Contenu : a) 1967.

- ▶ **Syst. diff.** ... *par la méthode classique de Runge–Kutta...*  
Pas de méthodes implicites (pourtant : Kuntzmann (61), Ceshino et Kuntzmann (63), Butcher (64). Des calculs en mécanique céleste sont publiés en 65). Communication de Ceshino (Prédicteur-Correcteur, AFCAL, 60).

## Contenu : a) 1967.

- ▶ **Syst. diff.** ... *par la méthode classique de Runge–Kutta...*  
Pas de méthodes implicites (pourtant : Kuntzmann (61), Ceshino et Kuntzmann (63), Butcher (64). Des calculs en mécanique céleste sont publiés en 65). Communication de Ceshino (Prédicteur-Correcteur, AFCAL, 60).
- ▶ **Équ. intégrales, problèmes intégro-différentiels** (3/6).

## Contenu : a) 1967.

### ▶ **Approximation.**

- ▶ Uniforme (avec/sans contraintes). Algorithme de Remez (Remes) généralisé.  
Contraintes égalité/inégalité.
- ▶ Moindres carrés.
- ▶ Splines.

*Spécialité Grenobloise (P.J. Laurent).*

Parmi les contributeurs : C. Carasso, M. Terrenoire.

## Contenu : a) 1967.

Il n'est pas rare qu'il existe plusieurs méthodes (une bonne, une moins bonne) pour le même problème ; par exemple :

- ▶ Résolution de  $AX = B$  par la méthode de Gauss :
  1. Sans choix du pivot (N. Gastinel, Grenoble),
  2. Avec la règle du pivot max. (Saya, Grenoble).
- ▶ Ajustement polynomial aux moindres carrés :
  1. Naïf (Eberhard, Grenoble).
  2. Polynômes orthogonaux (Hisleur, Grenoble).

## Contenu : a) 1967.

Il n'est pas rare qu'il existe plusieurs méthodes (une bonne, une moins bonne) pour le même problème ; par exemple :

- ▶ Résolution de  $AX = B$  par la méthode de Gauss :
  1. Sans choix du pivot (N. Gastinel, Grenoble),
  2. Avec la règle du pivot max. (Saya, Grenoble).
- ▶ Ajustement polynomial aux moindres carrés :
  1. Naïf (Eberhard, Grenoble).
  2. Polynômes orthogonaux (Hisleur, Grenoble).

*Mais pas de comparaison numérique.*

Explication probable : la rareté de la ressource de calcul et la taille limitée des problèmes qu'on peut résoudre.

## Contenu : b) 1970.

- ▶ (T) *Calcul rapide d'une transformée de Fourier* (A. Eberhard, Grenoble).

(T) : Résultats de thèses.

## Contenu : b) 1970.

- ▶ (T) *Calcul rapide d'une transformée de Fourier* (A. Eberhard, Grenoble).

- ▶ (T) Estimations d'erreur *backward* :

$$A^t.Ax = A^t b \text{ (} x \text{ inconnu) et } A^t.Ax^* \neq A^t b.$$

On construit  $A^*$  et  $b^*$  qui minimisent  $\|A - A^*\|_F^2 + \|b - b^*\|_2^2$  sous contrainte  $A^{*t}.A^*x^* = A^{*t}b^*$ , d'où une estimation de  $\|x - x^*\|_2$

Idem pour les racines des polynômes et les valeurs propres (thèse de Ducrocq, Grenoble -disponible en ligne-).

(T) : Résultats de thèses.

## Contenu : b) 1970.

- ▶ (T) *Calcul rapide d'une transformée de Fourier* (A. Eberhard, Grenoble).
- ▶ (T) *Estimations d'erreur backward* :  
 $A^t.Ax = A^t b$  ( $x$  inconnu) et  $A^t.Ax^* \neq A^t b$ .  
On construit  $A^*$  et  $b^*$  qui minimisent  $\|A - A^*\|_F^2 + \|b - b^*\|_2^2$   
sous contrainte  $A^{*t}.A^*x^* = A^{*t}b^*$ , d'où une estimation de  $\|x - x^*\|_2$   
Idem pour les racines des polynômes et les valeurs propres (thèse de Ducrocq, Grenoble -disponible en ligne-).
- ▶ Accélération de la convergence ( $\varepsilon$  et  $\rho$  algorithmes).

(T) : Résultats de thèses.

## Contenu : b) 1970.

- ▶ (T) *Calcul rapide d'une transformée de Fourier* (A. Eberhard, Grenoble).
- ▶ (T) Estimations d'erreur *backward* :  
 $A^t.Ax = A^t b$  ( $x$  inconnu) et  $A^t.Ax^* \neq A^t b$ .  
On construit  $A^*$  et  $b^*$  qui minimisent  $\|A - A^*\|_F^2 + \|b - b^*\|_2^2$   
sous contrainte  $A^{*t}.A^*x^* = A^{*t}b^*$ , d'où une estimation de  $\|x - x^*\|_2$   
Idem pour les racines des polynômes et les valeurs propres (thèse de Ducrocq, Grenoble -disponible en ligne-).
- ▶ Accélération de la convergence ( $\varepsilon$  et  $\rho$  algorithmes).
- ▶ (T) Algorithme de Strassen (C. de Polignac, Grenoble).  
(thèse: *Méthodes optimales de calcul de produits de matrices*, 1970. -disponible en ligne-).

(T) : Résultats de thèses.

## Contenu : b) 1970.

- ▶ (T) *Calcul rapide d'une transformée de Fourier* (A. Eberhard, Grenoble).
- ▶ (T) Estimations d'erreur *backward* :  
 $A^t.Ax = A^t.b$  ( $x$  inconnu) et  $A^t.Ax^* \neq A^t.b$ .  
On construit  $A^*$  et  $b^*$  qui minimisent  $\|A - A^*\|_F^2 + \|b - b^*\|_2^2$   
sous contrainte  $A^{*t}.A^*x^* = A^{*t}.b^*$ , d'où une estimation de  $\|x - x^*\|_2$   
Idem pour les racines des polynômes et les valeurs propres (thèse de Ducrocq, Grenoble -disponible en ligne-).
- ▶ Accélération de la convergence ( $\varepsilon$  et  $\rho$  algorithmes).
- ▶ (T) Algorithme de Strassen (C. de Polignac, Grenoble).  
(thèse: *Méthodes optimales de calcul de produits de matrices*, 1970. -disponible en ligne-).
- ▶ ... et quelques équations intégrales, mais pas d'EDOs!

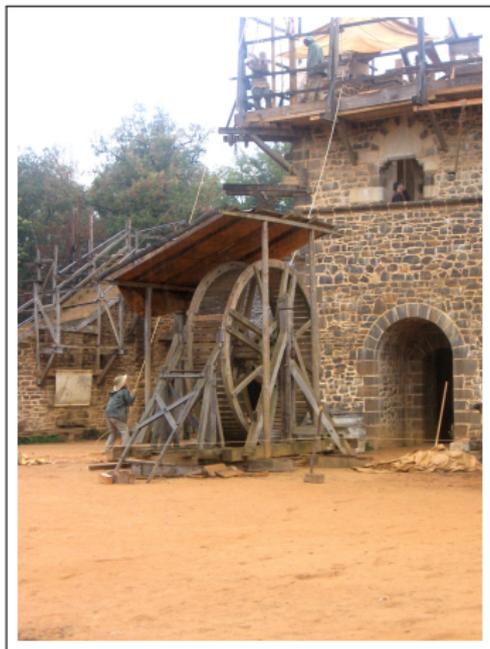
(T) : Résultats de thèses.

# Style de programmation, implantation

- ▶ Styles : tous à peu près identiques.
- ▶ Implantation :
  - La machine utilisée est rarement citée.
  - Peu d'exemples numériques (rien de systématique).

# Les Procédures Algol en Analyse Numérique (2)

Rejouer, expertiser programmes et résultats.



*Archéologie expérimentale, Château de Guédelon*

## Les Procédures Algol en Analyse Numérique (2)

1. Faire revivre un programme, et l'expertiser, en 2019.
2. Enquête flottante.

1) La méthode de Bairstow (Sir Leonard Bairstow, 1880–1963). Tome 1.

Programme codé par Lagouanelle (Toulouse).

1) La méthode de Bairstow (Sir Leonard Bairstow, 1880–1963). Tome 1.

Programme codé par Lagouanelle (Toulouse).

Trouver les racines réelles et complexes d'un polynôme à coefficients réels *sans utiliser d'arithmétique complexe*.

# 1) La méthode de Bairstow (Sir Leonard Bairstow, 1880–1963). Tome 1.

Programme codé par Lagouanelle (Toulouse).

Trouver les racines réelles et complexes d'un polynôme à coefficients réels *sans utiliser d'arithmétique complexe*.

On cherche un facteur quadratique d'un polynôme  $P(x)$  dont on veut calculer les racines.

Etant donnés  $B$  et  $C$  réels, on a :

$$P(x) = (x^2 + Bx + C)Q(x) + (Rx + S),$$

ce qui définit

$$\mathcal{F} : \begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} R \\ S \end{pmatrix}.$$

On annule  $\mathcal{F}$  par la méthode de Newton.

## La méthode de Bairstow

Le calcul de la jacobienne de  $\mathcal{F}$  est astucieux :

$$P(x) = (x^2 + Bx + C)Q(x) + (Rx + S).$$

$$0 = \frac{\partial P}{\partial C} = (x^2 + Bx + C) \frac{\partial Q}{\partial C} + Q(x) + x \frac{\partial R}{\partial C} + \frac{\partial S}{\partial C}.$$

$$-Q(x) = (x^2 + Bx + C) \frac{\partial Q}{\partial C} + x \frac{\partial R}{\partial C} + \frac{\partial S}{\partial C}.$$

$$-xQ(x) = (x^2 + Bx + C) \frac{\partial Q}{\partial B} + x \frac{\partial R}{\partial B} + \frac{\partial S}{\partial B}.$$

## Le code extrait des procédures

```
PROCEDURE BAIRSTOW(N,A,S0,P0,EPS1,EPS2,MAXITER,X,Y,DIVERG) ;  
  VALEUR N,A ; ENTIER N,MAXITER ; REEL S0,P0,EPS1,EPS2 ;  
  TABLEAU A,X,Y ; ETIQUETTE DIVERG ;  
COMMENTAIRE  
  BAIRSTOW CALCULE LES RACINES DE  $P(X)=A(0)X^{**N}+A(1)X^{**(N-1)}+..A(N)$   
  POLYNOME DE DEGRE N.SES COEFFICIENTS,REELS,SONT RANGES DANS LE
```



```

        SI N=1 ALORS ALLERA DERZERO ;
        SI N=0 ALORS ALLERA FIN ;
SUIE :  POUR K:=0 PAS 1 JUSQUA N FAIRE
        A[K]:=B[K] ;
        ALLERA DEGTEST ;
DERZERO : XI:=-B[1]/B[0] ;
        X[N]:=X1 ; Y[N]:=0 ;
FIN :   FIN BAIRSTOW ;

```

### 3 - EXEMPLE D'UTILISATION

On se propose de calculer par Bairstow les racines du poly  
nôme

$$P_4(X) = X^4 - 2X^3 + X^2 + 2X - 2$$

on pose MAXITER = 50, SO = 0, PO = 0, EPS1 = 0.0000001

EPS2 = 0.01 .

#### Programme

```

DEBUT
PROCEDURE BAIRSTOW(N,A,SO,PO,EPS1,EPS2,MAXITER,X,Y,DIVERG) ; CORPS
        DE PROCEDURE ;
ENTIER I,N,MAXITER; REEL SO,PO,EPS1,EPS2 ;
        LIRE(N,MAXITER,SO,PO,EPS1,EPS2) ;
DEBUT TABLEAU X,Y[1:N],A[0:N] ;
        POUR I := 0 PAS 1 JUSQUA N FAIRE LIRE(A[I]) ;
        BAIRSTOW(N,A,SO,PO,EPS1,EPS2,MAXITER,X,Y,DIVERG) ;
POUR I := 1 PAS 1 JUSQUA N FAIRE ECRIRE(I,X[I],Y[I]) ;
ALLERA FINPROG ; DIVERG : ECRIRE( " DIVERGENCE " , " BAIRSTOW " ) ;
FINPROG : FIN FIN ;

```

# Rejouer

- ▶ OCR et beaucoup de patience.
- ▶ Le problème des mots clés en français : modifier le compilateur ou écrire un traducteur (Python, facile).
- ▶ E/S. non normalisées : pas grave.

# Rejouer

- ▶ OCR et beaucoup de patience.
- ▶ Le problème des mots clés en français : modifier le compilateur ou écrire un traducteur (Python, facile).
- ▶ E/S. non normalisées : pas grave.
- ▶ Compilateurs :
  1. **GNU Marst** : peut être un peu en déshérence.
  2. **Jan van Katwijk : jff-algol** : « *vivant* ». L'auteur a effectué l'adaptation aux mots clés français : [jff-algol -F prog.alg](#).  
(Traducteurs vers C, puis compilation. Disponibles sur Github).

Que dire de ce programme ?

Que dire de ce programme ?

Il est probablement **juste**.

- ▶ Méthode de Bairstow en Julia.
- ▶ Résultats certifiés à l'aide de sage (calculs exacts dans les nombres algébriques).

Que dire de ce programme ?

Il est probablement **juste**.

- ▶ Méthode de Bairstow en Julia.
- ▶ Résultats certifiés à l'aide de sage (calculs exacts dans les nombres algébriques).

Le style :

- ▶ 14 goto.
- ▶ Pas de découpage en sous procédures (et donc pas de procédures imbriquées).

*Ce n'est pas le programme le mieux codé !*

Que dire de ce programme ?

Il est probablement **juste**.

- ▶ Méthode de Bairstow en Julia.
- ▶ Résultats certifiés à l'aide de sage (calculs exacts dans les nombres algébriques).

Le style :

- ▶ 14 **goto**.
- ▶ Pas de découpage en sous procédures (et donc pas de procédures imbriquées).

*Ce n'est pas le programme le mieux codé !*

On peut ré-écrire le code avec **un seul goto** (Algol 60 n'a pas de *break* pour sortir des boucles).

*Il est intéressant de remarquer que le code Julia se transcrit facilement en Algol 60, en gardant la structure.*

## Une petite dose d'Algol (à 60) ?

Algol 60 apparaît comme un langage très moderne pour son temps :

- ▶ Paramètres déclarés `value`.
- ▶ Récursif.
- ▶ Procédures dans les procédures.
- ▶ Indices des tableaux : `real array x[-30:20]`.
- ▶ etc.

## Une petite dose d'Algol (à 60) ?

```
procedure proc(tab, a, b);  
  value a;  
  real array tab; real a,b;
```

## Une petite dose d'Algol (à 60)?

```
procedure proc(tab, a, b);  
  value a;  
  real array tab; real a,b;  
  
begin  
  real procedure toto(x,y);  
    real x,y;  
    begin  
      ....  
    end toto;
```

## Une petite dose d'Algol (à 60)?

```
procedure proc(tab, a, b);  
  value a;  
  real array tab; real a,b;  
  
begin  
  real procedure toto(x,y);  
    real x,y;  
    begin  
      ....  
    end toto;  
  
  integer i;real j
```

## Une petite dose d'Algol (à 60) ?

```
procedure proc(tab, a, b);
  value a;
  real array tab; real a,b;

begin
  real procedure toto(x,y);
    real x,y;
    begin
      ....
    end toto;

  integer i;real j

  for i :=1 step 1 until 10 do
    .....
end proc;
```

```

integer procedure bairstow(poly,lp,a,b,iterm,eps,
                           vr1,vr2,vim1,vim2);
real array poly; real a,b,eps,vr1,vr2,vim1,vim2;
integer lp,iterm;
begin
  boolean procedure Newton(p,a,b,degre,iterm,eps);
  value degre,iterm,eps;
  real array p; real a,b,eps;
  integer degre,iterm;
  begin
    real procedure NewtonStep(p,lp,a,b,iterm);
    value iterm,lp;
    real array p; real a,b; integer lp,iterm;
    begin
      integer i; real delta, reta,retb;
      real array d[1:3], rema[1:lp],remb[1:lp];
      real array qa[1:lp-1],ra[1:2];
      real array qb[1:lp-1],rb[1:2],quot[1:lp],m;
      d[1] :=1.0; d[2]:=a; d[3]:=b;
      divide2(p,d,lp,quot,rem):

```

Tout est disponible sur github :

[https://github.com/Thierry-Dumont/Vintage\\_Computing](https://github.com/Thierry-Dumont/Vintage_Computing)

... et sera donc conservé *pour l'éternité* par *Software Heritage* :

<https://www.softwareheritage.org/?lang=fr>.

Note : on pourrait s'intéresser à :

*« Le Défi Décennal de Reproductibilité est une invitation pour les chercheurs à essayer d'exécuter le code qu'ils ont créé pour une publication scientifique qui a plus de dix ans. »*

<http://rescience.github.io/ten-years/>

Donne envie de regarder (et peut-être de regretter) les successeurs déclarés d'Algol 60 :

- ▶ Algol-W.
- ▶ Alpha (Ershov, URSS) : Algol 60 + tableaux, matrices et « slices ».
- ▶ Algol 68.
- ▶ **Simula 67** (orienté objets (classes, méthodes), coroutines, *parallélisme*, modules...).

Des compilateurs Algol W, Algol 68 et Simula 67 existent sous Linux.



2) L'enquête flottante,  
OU  
L'empreinte digitale.