

Science informatique

La contribution de Claude Pair

Pierre Lescanne

École normale supérieure de Lyon

14 juin 2019

- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes
- 3 L'équivalence des types corécursifs
- 4 Les structures d'information
- 5 L'analyse syntaxique
- 6 Autres concepts

- Les **langages** sont les structures **algébriques** de la langue et donc des langages de programmation.
- Les **bilangages** (terme inventé par CP) sont les structures de l'**analyse syntaxique** (l'**analyse logique** de notre jeune temps).

Claude Pair étudie les bilangages comme une **structure de données récursive**. **C'est tout-à-fait nouveau !**

Brillante mathématicienne, Rózsa Péter (1905-1977) a eu bien du mal dans sa carrière,

- elle n'a tout d'abord pas trouvé de travail à cause de la *grande dépression*,
- elle a été privée d'emploi par les nazis du fait de sa judéité,
- elle ne trouve son premier emploi à temps complet qu'en 1945 (dans l'*Institut de formation des maîtres*),
- elle s'est trouvée coupée des mathématiciens occidentaux du fait du rideau de fer.



- **Rózsa Péter** est un **pionnière de la récursivité** (la théorie des fonctions calculables), sur laquelle elle écrit un livre de référence : *Rekursive Funktionen*, d'abord écrit en allemand, sa deuxième langue natale, puis traduit en anglais.
- Pendant la guerre, elle a écrit un livre de **vulgarisation** traduit en français par Georges Kassai, et préfacée par Cédric Villani, sous le titre *Jeux avec l'infini. Voyage à travers les mathématiques*.
- **Première femme élue** à l'Académie hongroise des sciences.

- **Rózsa Péter** est un **pionnière de la récursivité** (la théorie des fonctions calculables), sur laquelle elle écrit un livre de référence : *Rekursive Funktionen*, d'abord écrit en allemand, sa deuxième langue natale, puis traduit en anglais.
- Pendant la guerre, elle a écrit un livre de **vulgarisation** traduit en français par Georges Kassai, et préfacée par Cédric Villani, sous le titre *Jeux avec l'infini. Voyage à travers les mathématiques*.
- **Première femme élue** à l'Académie hongroise des sciences.

Rózsa Péter est une **pédagogue** qui ne peut que s'étendre avec Claude Pair.

En 1959, Rózsa Péter publie un article :

- « *Über die Verallgemeinerung der Theorie der rekursiven Funktionen für abstrakte Mengen geeigneter Struktur als Definitionsbereiche* »

Elle initie ce que nous appelons aujourd'hui l'**induction structurelle**.

En 1959, Rózsa Péter publie un article :

- « *Über die Verallgemeinerung der Theorie der rekursiven Funktionen für abstrakte Mengen geeigneter Struktur als Definitionsbereiche* »
- « *Sur la généralisation de la théorie des fonctions récursives pour des ensembles abstraits de structures appropriées comme domaines de définition* ».

Elle initie ce que nous appelons aujourd'hui l'**induction structurelle**.

On ne raisonne plus sur les nombres, mais sur les objets mathématiques.

Définition et Etude des Bilangages Réguliers

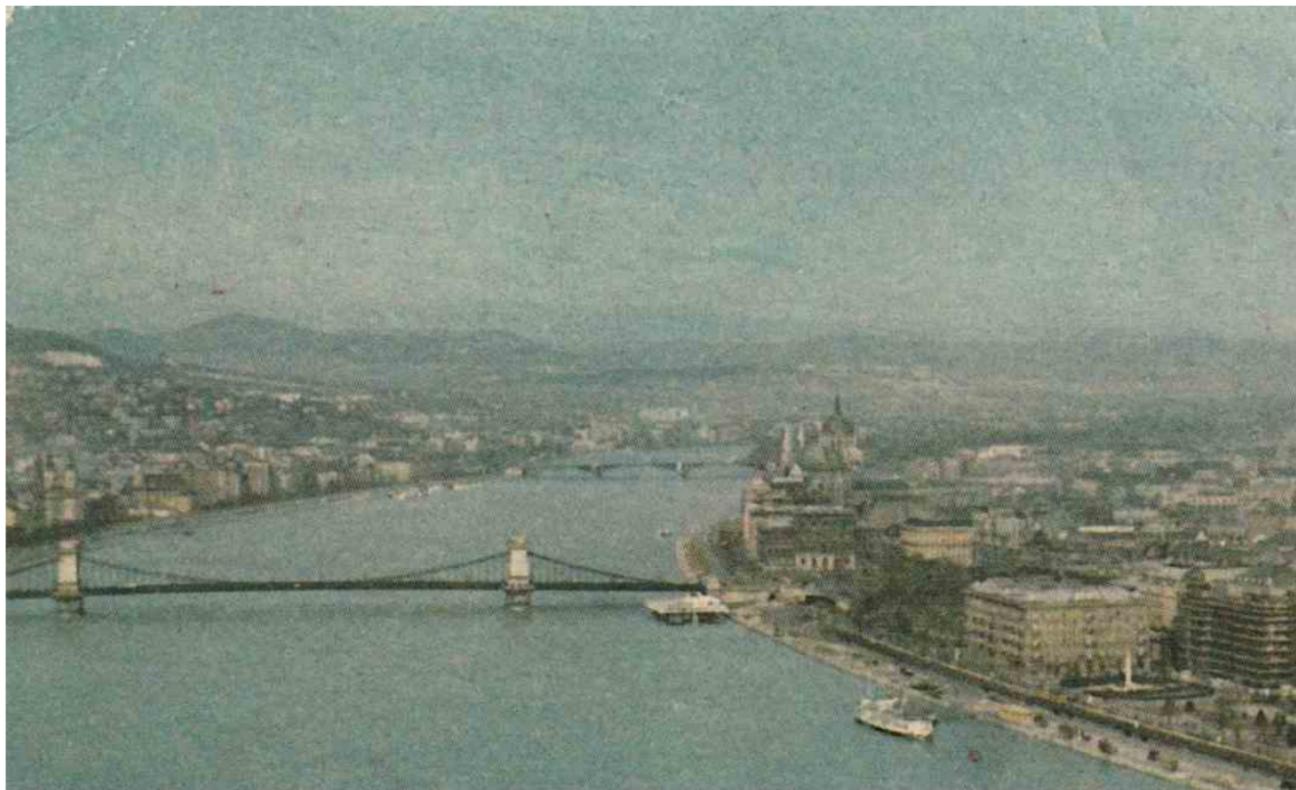
C. PAIR ET A. QUERE

Institut Universitaire de Calcul Automatique, Université de Nancy, Nancy, France

The paper presents a definition of "arborescent structures" (or *ramifications*) enabling to process them algebraically. "Languages" formed with ramifications are defined and we call them "*bilanguages*." The notion of regular language is then generalized into the notion of *regular bilanguage*. These regular bilanguages are compared to those generated by context-free grammars. Their properties are demonstrated; especially, a theorem analogous to Kleene's theorem on regular languages is stated.

INTRODUCTION

Dans de nombreux domaines du traitement de l'information, on emploie des "structures arborescentes", avec éventuellement plusieurs racines, souvent orientées "de gauche à droite" et dont chaque noeud est



Budapest, 5. 10. 1968.

Budapest, Erzsébet-híd
Elisabethbrücke
Elisabeth Bridge
Elizabetha ponto

Lieber Herr Kollege,
vielen Dank für
Ihre mich sehr interes-

sierende Arbeit! Ihre "Binöiden"
können tatsächlich als Spezialfälle
meiner "freien holomorphen Mengen"
definiert werden. Ich werde Ihnen
daraüber auch ausführlicher schrei-
ben, und auch meine diesbezügli-
che Arbeiten Ihnen schicken (in
diesen muss ich aber einige spä-
ter entdeckte Korrelationen eintra-
gen). Verzeihen Sie mir bitte,
dass dies nicht sofort geschieht:
ich bin zur Zeit mit Restanzen
überhört. Mit freundlichem Gruss
Rösa Téter

SZ

Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, Budapest



Dr. C. Pair

Institute Universitaire
de Calcul Automatique
42, avenue de la Libération

54 Nancy

Franciaország

R. Péter, Budapest VI.

BAJCSY ZSILINSZKY KÖZ 1. II. 3. Ára: 1,50 Ft

Foto: Bakonyi
I.—334/661.

Hongrie

OFFSET-NYOMDA, BUDAPEST

En 1959, Rózsa Péter publie un article :

- « *Über die Verallgemeinerung der Theorie der rekursiven Funktionen für abstrakte Mengen geeigneter Struktur als Definitionsbereiche* »
- « *Sur la généralisation de la théorie des fonctions récursives pour des ensembles abstraits de structures appropriées comme domaines de définition* ».

initiant ce que nous appelons aujourd'hui l'**induction structurelle**.

On ne raisonne plus sur les nombres, mais sur les objets mathématiques.

Quand elle reçoit l'article de Claude Pair et d'Alain Quéré sur les bilangages, elle est excitée et se lève à 4 heures du matin pour le lire.

Acta Mathematica Academiae Scientiarum Hungaricae
Tomus 21 (3—4), (1970), pp. 297—313

DIE PAIRSCHEN¹ FREIEN BINOÏDEN
ALS SPEZIALFÄLLE DER ANGEORDNETEN
FREIEN HOLOMORPHEN MENGEN

von

RÓZSA PÉTER (Budapest)

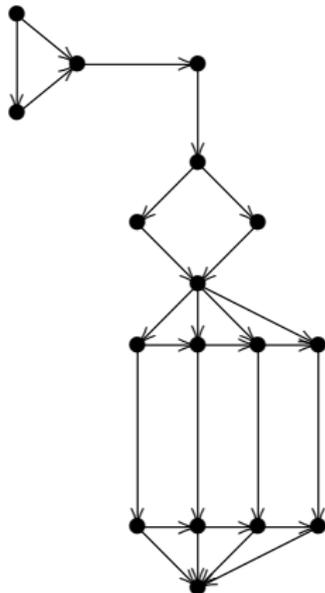
I. J. 1959 habe ich² den allgemeinen Begriff der angeordneten freien holomorphen Mengen (Mengen mit „zahlenartig“ aufbaubaren Elementen) eingeführt, und die Theorie der rekursiven Funktionen für solche abstrakte Mengen als Definitionsbereiche verallgemeinert; ferner als wichtigsten Spezialfall den Fall der „Wortmengen“ („freie Monoïden“, d. h. Mengen der endlichen Folgen aus Elementen je einer gegebenen Menge) über „Alphabete“ beliebiger Mächtigkeit ausgearbeitet. Bis zur letzten Zeit wurden unter den Spezialfällen des allgemeinen Begriffes nur die Wortmengen vielseitig untersucht und angewandt. Nun wurde in [1] ein in wichtigen Anwendungen, insbesondere in der mathematischen Grammatik nützlicher Begriff, der Begriff der „freien Binoïden“ eingeführt, von welchen in vorliegender Arbeit gezeigt wird, daß — und wie — auch sie als angeordnete freie holomorphe Mengen definiert werden können, und wie sich die allgemeine Theorie der rekursiven

- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes**
- 3 L'équivalence des types corécursifs
- 4 Les structures d'information
- 5 L'analyse syntaxique
- 6 Autres concepts

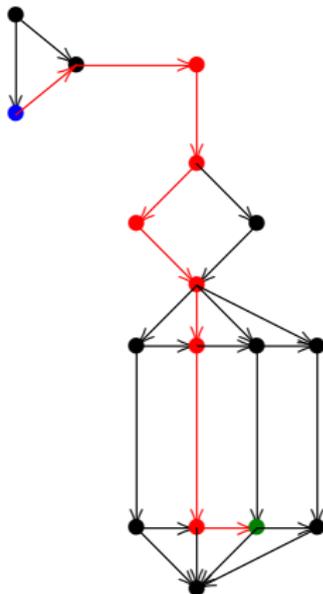
Qu'est-ce qu'un graphe ?



Qu'est-ce qu'un graphe ?



Un chemin dans un graphe



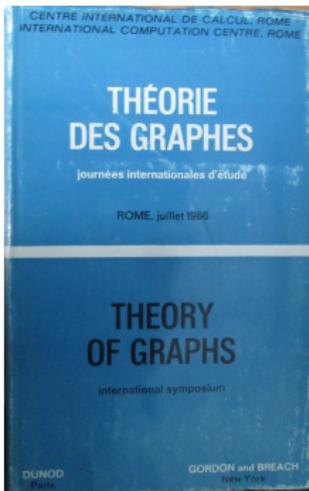
Calcul de chemins

On peut vouloir calculer :

- Tous les chemins,
- S'il existe un chemin,
- Le plus court chemin,
- La distance entre deux points,
- etc.

Claude Pair propose un approche **algébrique**.

- Il comprend que la notion fondamentale est celle **d'homomorphisme**.
- Il introduit pour cela la notion de **semi-anneau**, sans la nommer.
- Il publie dans une conférence internationale réunissant le gratin de la théorie des graphes : « *Sur des algorithmes pour des problèmes de cheminement dans les graphes finis* »
- un livre : **Jean Claude Derniame, Claude Pair, *Problèmes de cheminement dans les graphes, Dunod, 1971.***
- un article : C. Pair : « *Mille et un algorithmes pour les problèmes de cheminement dans les graphes* », (R.I.R.O.), pp 125–143 (1970)



**SUR DES ALGORITHMES
POUR LES PROBLÈMES DE CHEMINEMENT
DANS LES GRAPHES FINIS**

C. PAIR *

ABSTRACT.

On algorithms for path problems.

It is first shown how one may construct, from an algorithm which constructs sets of paths of a graph, other algorithms by homomorphisms, solving such problems as :

- existence of paths which possess certain properties; preordering associated with a graph;
- enumeration of paths;
- search for elementary paths or circuits satisfying certain conditions;
- the shortest path (or the longest, the most probable, etc.);
- distances;
- calculating the passage probabilities.

Several examples will be treated, discussing the number of operations needed.

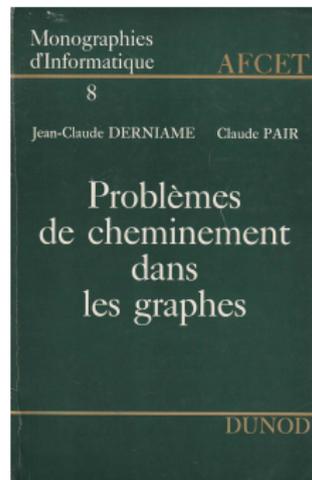
In particular, an algorithm will be presented which constructs sets containing every elementary path from a point x to a point y of the graph while using a stack which avoids exploring the same part of the graph several times. This algorithm which can be deduced by homomorphisms require relatively few operations, particularly when the graph does not have many arcs.

* * *

1. Introduction.

Les problèmes de recherche du préordre associé à un graphe, de plus courtes distances et de plus courts chemins, de plus longues distances et de plus longs chemins, de nombres de chemins, de probabilités de passage d'un point à un autre sont évidemment liés à des problèmes de construction de chemins. Il s'agit, pour des couples x, y de points du graphe, d'associer à un ensemble de chemins joignant x à y une information qui, selon les cas, prend l'une des valeurs VRAI, FAUX, ou est une distance, ou un chemin, ou un entier, ou une probabilité. Bien entendu, ce serait un véritable gaspillage de construire d'abord l'ensemble de chemins pour en déduire ensuite cette information. Mais on peut parfois transformer l'algorithme de construction, qui donne à chaque étape un ensemble partiel conduisant à l'ensemble final, pour obtenir de même à chaque étape une information partielle associée conduisant à l'information cherchée.

(*) Institut Universitaire de Calcul Automatique, 42, avenue de la Libération, Nanterre, France.



- Deux français publient un livre sur les semi-anneaux et leur application à la théorie des graphes : aucune référence,

- Deux français publient un livre sur les semi-anneaux et leur application à la théorie des graphes : aucune référence,
- Un groupe de français inventent les « *semi-anneaux tropicaux* », un concept connu de CP, mais ne connaissent pas les travaux de CP,

- Deux français publient un livre sur les semi-anneaux et leur application à la théorie des graphes : aucune référence,
- Un groupe de français inventent les « *semi-anneaux tropicaux* », un concept connu de CP, mais ne connaissent pas les travaux de CP,
- Un français redécouvre l'approche unifiante de CP pour les algorithmes de cheminements, il publie en 2002 dans le *Journal of Automata, Languages and Combinatorics*, un article intitulé : **Semiring frameworks and algorithms for shortest-distance problems**

- Deux français publient un livre sur les semi-anneaux et leur application à la théorie des graphes : aucune référence,
- Un groupe de français inventent les « *semi-anneaux tropicaux* », un concept connu de CP, mais ne connaissent pas les travaux de CP,
- Un français redécouvre l'approche unifiante de CP pour les algorithmes de cheminements, il publie en 2002 dans le *Journal of Automata, Languages and Combinatorics*, un article intitulé : **Semiring frameworks and algorithms for shortest-distance problems**
C'est un article parmi les plus cités du journal !

- Deux français publient un livre sur les semi-anneaux et leur application à la théorie des graphes : aucune référence,
- Un groupe de français inventent les « *semi-anneaux tropicaux* », un concept connu de CP, mais ne connaissent pas les travaux de CP,
- Un français redécouvre l'approche unifiante de CP pour les algorithmes de cheminements, il publie en 2002 dans le *Journal of Automata, Languages and Combinatorics*, un article intitulé : **Semiring frameworks and algorithms for shortest-distance problems**
C'est un article parmi les plus cités du journal ! 36 ans ! Un record !

- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes
- 3 L'équivalence des types corécursifs**
- 4 Les structures d'information
- 5 L'analyse syntaxique
- 6 Autres concepts

Qu'est-ce qu'un type ?

Mon instituteur me disait :

« On n'ajoute pas les petits-pois et les carottes ! ».



+



Qu'est-ce qu'un type ?

Mon instituteur me disait :

« On n'ajoute pas les petits-pois et les carottes ! ».



+



Un **type** attache une étiquette à tout ce qu'un programme manipule.
Algol 68, est l'un des premiers langages avec une notion générale de **type**,
mais **Algol 68** l'appelle **mode** ou **protonotion** .

Les types corécursifs

En ALGOL 68, on peut même définir des objets infinis, comme les flux (stream).

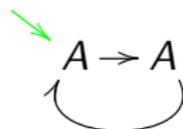
$Flux\ A = A :: (Flux\ A)$



Pas
d'initialisation
(corécursion)

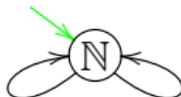
ou encore

$Flux'\ A = A :: A :: (Flux'\ A)$



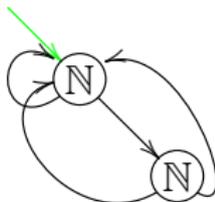
ou comme les arbres binaires d'entiers

$$Bin = Bin \leftarrow \mathbb{N} \rightarrow Bin$$



ou encore

$$Bin' = Bin' \leftarrow \mathbb{N} \rightarrow (Bin' \leftarrow \mathbb{N} \rightarrow Bin')$$



Les types coréursifs

Est-ce que `Flux` et `Flux'` définissent le même type ?

Est-ce que `Bin` et `Bin'` définissent le même type ?

Les types corécursifs

Est-ce que `Flux` et `Flux'` définissent le même type ?

Est-ce que `Bin` et `Bin'` définissent le même type ?

En 1969, Claude Pair dit qu'on peut toujours répondre à ce type de question.

Pour cela, CP fournit un **algorithme de décision**.

Le problème ne sera à nouveau abordé qu'en 1993 par Amadio et Cardelli, dans un cas plus général, sans connaître le résultat de Pair.

Les types corécursifs

Est-ce que `Flux` et `Flux'` définissent le même type ?

Est-ce que `Bin` et `Bin'` définissent le même type ?

En 1969, Claude Pair dit qu'on peut toujours répondre à ce type de question.

Pour cela, CP fournit un **algorithme de décision**.

Le problème ne sera à nouveau abordé qu'en 1993 par Amadio et Cardelli, dans un cas plus général, sans connaître le résultat de Pair.



AB31.3.2 Concerning the Syntax of ALGOL 68

C. Pair

1. General

1.1 Introduction

The "strict language" of ALGOL 68 is generated by a context-free grammar, generalised in the sense that its non-terminal vocabulary and its set of production rules are infinite. The non-terminal vocabulary is made up of "notions", which are particular cases of "protonotions".



VERSION PAPIER DU LIVRE

Aucun e-book disponible

[The MIT Press](#)
[Amazon France](#)
[Decitre](#)
[Dialogues](#)
[FNAC](#)
[Mollat](#)
[Ombres-Blanches](#)
[Sauramps](#)

[Trouver ce livre dans une bibliothèque](#)
[Tous les vendeurs »](#)



9 Avis

[Rédiger un commentaire](#)

Types and Programming Languages

De Benjamin C. Pierce, Benjamin C. (Professor
Pierce, University of Pennsylvania)

OK

[À propos de ce livre](#)Résultat 1 sur 1 dans ce livre pour **claude pair**[Effacer la recherche](#) ✕

280

20 Recursive Types

veyed by Courcelle (1983). Basic syntactic and semantic properties of recursive types without subtyping were established in early papers by Huet (1976) and MacQueen, Plotkin, and Sethi (1986). (An even earlier paper by **Claude Pair**, entitled *Concerning the Syntax of Algol 68*, contains what appears to be the first proof of the decidability of equality for equi-recursive types. The original, published in the Algol Bulletin, no. 31, March 1970, is difficult to find, but Pierre Lescanne has kindly made available a scanned copy on his web site.)

Morris (1968, pp. 122-124) first observed that recursive types can be used to construct a well-typed fix operator for terms (§20.1).

The relation between iso- and equi-recursive systems was explored by Abadi and Fiore (1996). The two formulations of recursive types have been around since the earliest work in the area, but the pleasantly mnemonic terms *iso-recursive* and *equi-recursive* are a recent coinage by Cray, Harper, and Puri (1999).

Additional citations on recursive types with subtyping can be found in §21.12.

- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes
- 3 L'équivalence des types corécursifs
- 4 Les structures d'information**
- 5 L'analyse syntaxique
- 6 Autres concepts

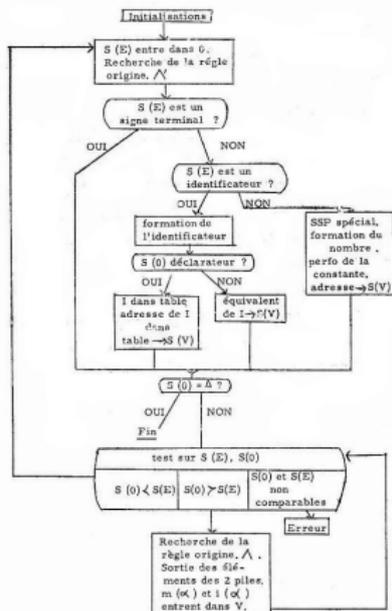
L'état de l'art en 1970

Au début des années 1970, les chercheurs ne savent pas donner un sens à la **notion de calcul**, ni à la **notion de données**.

L'état de l'art en 1970

Au début des années 1970, les chercheurs ne savent pas donner un sens à la **notion de calcul**, ni à la **notion de données**.

Pour décrire un calcul on a les **organigrammes** :



L'état de l'art en 1970

En Algol 60 on a

- les nombres entiers,
- les nombres réels,
- les tableaux.

L'état de l'art en 1970

En **Algol 60** on a

- les nombres entiers,
- les nombres réels,
- les tableaux.

On a beaucoup plus de choses en **Algol 68**, mais c'est assez « *syntaxique* » et confiné dans le langage et

- pas dans la **pratique** des utilisateurs,
- non plus que dans la **conception des programmes**.

Les structures d'informations

Claude Pair et son équipe veulent **décrire** les objets de l'informatique **par les mathématiques**, c'est-à-dire

- l'algèbre,
- la logique.

Les structures d'informations

Claude Pair et son équipe veulent décrire les objets de l'informatique par les mathématiques, c'est-à-dire

- l'algèbre,
 - la logique.
-
- Une **donnée** est un objet informatique sur lequel on fait des calculs.
 - Une **structure de données** est un regroupement de données qui partagent des **propriétés communes**.
 - Une présentation abstraite d'une données s'appelle une **information**.
 - Quand on ajoute à la formalisation des opérations (appelées **modifications**) on parle de **structure d'information**.
 - Un **calcul** est une suite de modifications décrite par un **programme** qui tend à résoudre un **problème**.

Les structures d'informations

Claude Pair et son équipe veulent décrire les objets de l'informatique par les mathématiques, c'est-à-dire

- l'algèbre,
 - la logique.
-
- Une **donnée** est un objet informatique sur lequel on fait des calculs.
 - Une **structure de données** est un regroupement de données qui partagent des propriétés communes.
 - Une présentation abstraite d'une données s'appelle une **information**.
 - Quand on ajoute à la formalisation des opérations (appelées **modifications**) on parle de **structure d'information**.
 - Un **calcul** est une suite de modifications décrite par un **programme** qui tend à résoudre un **problème**.

Une émergence progressive

Trois acteurs : Claude Pair, Jean-Pierre Finance et Jean-Luc Rémy.

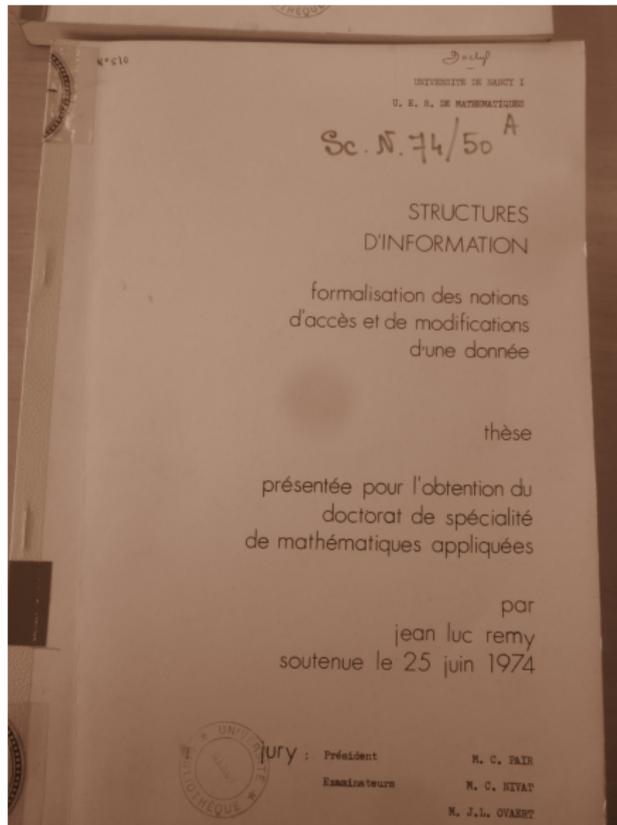
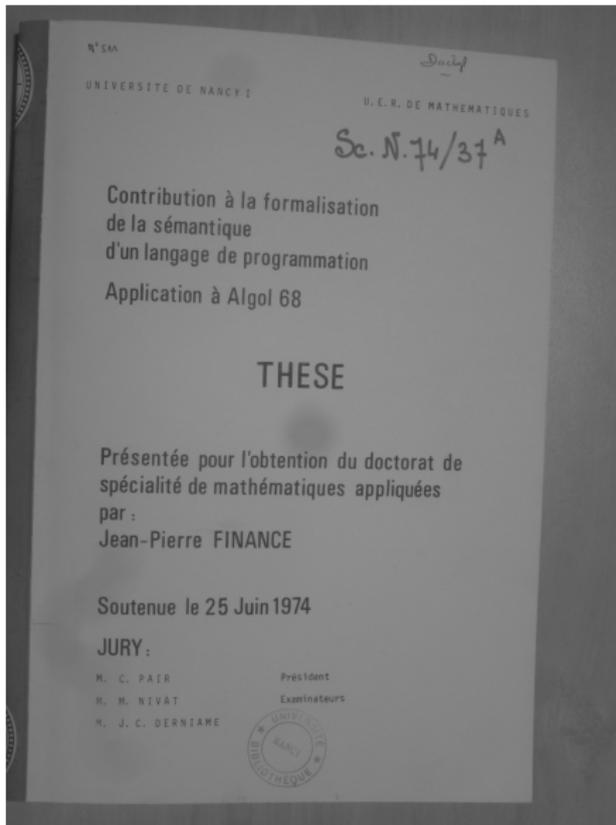
Communication à une école d'été de l'AFCEP, rapport, conférence internationale.

Une émergence progressive

Trois acteurs : Claude Pair, Jean-Pierre Finance et Jean-Luc Rémy.

Communication à une école d'été de l'AFCEP, rapport, conférence internationale.

Puis deux thèses le **25 juin 1974**.



Et après ?

- La thèse d'État de **Marie-Claude Gaudel** (1980) utilise l'approche pour la compilation, **Génération et preuve de compilateurs basées sur une sémantique formelle des langages de programmation**
- Deux chapitres de la thèse d'État de **Pierre Lescanne** (1979) présentent les structures d'information sous forme d'« *algèbres* ».

Et après ?

- La thèse d'État de **Marie-Claude Gaudel** (1980) utilise l'approche pour la compilation, **Génération et preuve de compilateurs basées sur une sémantique formelle des langages de programmation**
- Deux chapitres de la thèse d'État de **Pierre Lescanne** (1979) présentent les structures d'information sous forme d'« *algèbres* ».

En 1993, **Yuri Gurevich** redécouvre les concepts sous le nom d'**Evolving Algebras** (**algèbres évolutives**), puis de **Machine à états abstraits**, ce qui donnera lieu à

- une longue série de travaux,
- un développement chez *Microsoft*,
- une conférence annuelle (18 éditions) et
- l'implication d'au moins une cinquantaine de chercheurs à travers le monde.

- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes
- 3 L'équivalence des types corécursifs
- 4 Les structures d'information
- 5 L'analyse syntaxique**
- 6 Autres concepts

Déterminisme dans l'analyse syntaxe

Analyser des phrases pour les comprendre n'est pas facile.

- Les poules du couvent couvent.
- Elle boit dans un verre et elle mange dans une assiette en verre.
- $-3 + 7 - 2$

On peut essayer toutes les possibilités et éliminer celles qui ne marchent pas. C'est le **Non déterminisme**.

Déterminisme dans l'analyse syntaxe

Analyser des phrases pour les comprendre n'est pas facile.

- Les poules du couvent couvent.
- Elle boit dans un verre et elle mange dans une assiette en verre.
- $-3 + 7 - 2$

On peut essayer toutes les possibilités et éliminer celles qui ne marchent pas. C'est le **Non déterminisme**.

En lisant un caractère à l'avance, on peut espérer **lever le non déterminisme**.

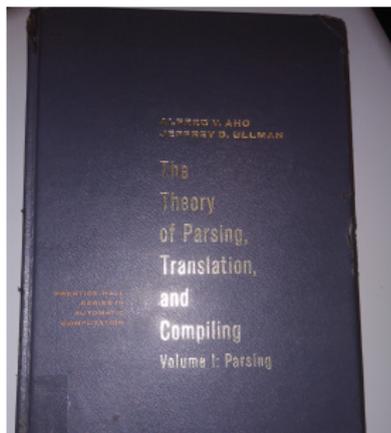
L'analyse syntaxique de précédence qu'étudie CP dans sa thèse d'État est **déterministe**.

Analyse syntaxique de précédence

L'Analyse syntaxique de précédence est appelée improprement **algorithme de Wirth-Weber**.

Simple precedence algorithms were defined by Wirth and Weber [1966] and independently by Pair [1964].

A.V. Aho et J. D. Ullman,
The Theory of Parsing, Translation, and Computing,
Prentice Hall, 1972, Vol I : Parsing, page 428



- 1 Le binoïdes et les bilangages
- 2 Les problèmes de cheminement dans les graphes
- 3 L'équivalence des types corécursifs
- 4 Les structures d'information
- 5 L'analyse syntaxique
- 6 Autres concepts**

- **Compilateur de compilateurs (Françoise Bellegarde  et Jean Maroldt) : le yacc nancéien s'appelle Face pour Fabrication Automatique de Compilateurs Efficaces.**

- Compilateur de compilateurs (Françoise Bellegarde  et Jean Maroldt) : le yacc nancéien s'appelle Face pour Fabrication Automatique de Compilateurs Efficaces.
- La méthode déductive précède de quelques années la *programmation lettrée* (Litterate Programming) de Donald Knuth.

- Compilateur de compilateurs (Françoise Bellegarde  et Jean Maroldt) : le yacc nancéien s'appelle Face pour Fabrication Automatique de Compilateurs Efficaces.
- La méthode déductive précède de quelques années la *programmation lettrée* (Litterate Programming) de Donald Knuth.

- Compilateur de compilateurs (Françoise Bellegarde  et Jean Maroldt) : le **yacc** nancéien s'appelle **Face** pour **F**abrication **A**utomatique de **C**ompileurs **E**fficaces.
- La **méthode déductive** précède de quelques années la *programmation lettrée* (**L**itterate **P**rogramming) de Donald Knuth.

Merci de votre attention