

**XVèmes Rencontres Raymond Abellio
Toulouse, 30 juin-1^{er} juillet 2018**

**CRÉATION ARTISTIQUE ET MODÉLISATION LOGICIELLE
par José Guilherme Abreu et Daniel Verney
(deuxième phase)**

**Première partie : Les robinets virtuels
ou
Des discontinuités créatives dans les algorithmes**

par Daniel Verney

Rappelons que dans le cadre du projet de recherche « Arts et logiciels » développé par José-Guilherme Abreu et Daniel Verney l'étude présentée ici en première partie de notre contribution s'intéresse aux actions créatrices qui peuvent intervenir dans une activité technico-scientifique de réalisation de logiciel. Cette étude est corrélée au travail de José Guilherme Abreu sur la genèse du tableau de Picasso, *Les Demoiselles d'Avignon*, présentée en deuxième partie.

1. Le contexte d'une création de logiciel.

Le logiciel dont il s'agit est un projet de modélisation des ressources en eau d'une zone de l'Italie du sud comprise entre Rome et Naples d'environ 3500 km², et couvrant une partie de la région du Latium (Lazio, Fig. 1). Ce projet faisait partie d'une étude plus globale de prévision économique, commandée par un organisme italien officiel. L'objectif en était de fournir au commanditaire un outil logiciel de simulation, dans le temps et dans l'espace, de la ressource en eau sur cette zone, en fonction des précipitations (eau et neige). Une telle simulation doit pouvoir donner un aperçu aussi fiable que possible des disponibilités de la ressource hydrique en vue du développement économique de la zone dite utile (principalement la plaine côtière du Latium). Le logiciel de simulation doit être « calé » grâce aux données de mesures locales relevées sur plus de 50 années, selon une ancienne tradition italienne de gestion de l'eau. Les travaux dont il s'agit dans le présent texte se sont déroulés au début de la décennie 1980-90.

La zone étudiée comporte une région montagneuse (les Abruzzes) où se trouve le point culminant de l'Italie péninsulaire (Le Gran Sasso, 2900 m, fig. 2) et des plateaux calcaires (notamment le Campo Imperatore, 1800 m, fig. 3). Cette zone de massifs calcaires est le réceptacle majeur des précipitations (principalement en automne et hiver) et, grâce à sa structure géologique karstique, un réservoir très important d'eau souterraine qui s'écoule assez lentement au sein d'aquifères

profonds pour aboutir à des sources au débouché des montagnes vers les collines et plaines du Latium.



Fig. 1. La région à modéliser du point de vue des ressources en eau : les montagnes des Abruzzes (cerclees de rouge) et la zone côtière du Latium (cerclees de bleu)

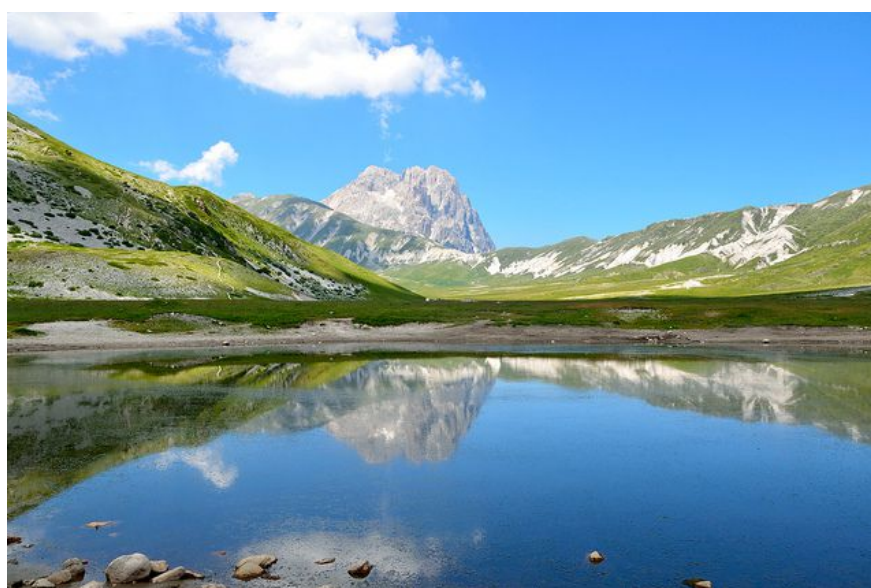


Fig.2. Le Gran Sasso (2900 m)



Fig. 3. Campo Imperatore, zone karstique d'infiltration des eaux



Fig. 4. Fontaine de Rigombro à Acquapendente (Latium)

L'objectif technique du modèle est de calculer, sur des périodes de temps de plusieurs années les valeurs des débits de sources et rivières et les niveaux des aquifères à chaque pas de temps (la semaine a été choisie), et sur de nombreux points de la zone territoriale modélisée. Et cela en fonction des données géographiques et géologiques, supposées pérennes, et des données météorologiques (principalement température et précipitations) qui sont par nature variables.

L'objectif politique et économique est d'offrir aux responsables un outil de simulation de la ressource en eau qui pourrait être disponible selon divers scénarios météorologiques.

Le modèle a donc une visée économique, utilitaire, ce qui n'exclut pas, comme on le verra ci-dessous, qu'il résulte d'une action créatrice et recèle un fond artistique.

2. Structure et fonctionnement du modèle.

Les entrées du modèle sont les débits de pluie et de neige, ainsi que les températures moyennes (qui déterminent l'évaporation ainsi que la fonte des neiges en des milliers de points de la zone (montagnes, collines et plaines). Ces entrées sont des valeurs moyennes dans des intervalles de temps bien définis (la semaine dans le cas de notre étude), et sur des périodes suffisamment longues (plusieurs années) pour tenir compte de la lenteur des écoulements souterrains. Ces valeurs sont ou bien des mesures prises dans le passé – en vue du réglage du modèle (dit « calibration » ou « étalonnage ») – ou bien des valeurs simulées sur les mêmes points de la zone, et avec les mêmes intervalles de temps. On peut ainsi simuler différentes hypothèses météorologiques, le modèle étant supposé fournir les sorties correspondantes, dans l'espace de la zone et sur les temps de la simulation.

La zone géographique à modéliser a été segmentée en mailles de 1 à 2 km² chacune (Fig. 6), avec les contraintes suivantes :

- chaque maille appartient à un seul bassin versant des eaux de surface (contrainte forte),
- chaque maille appartient à un seul régime géologique (contrainte faible du fait de la complexité géologique de la région).

La carte ainsi créée a été numérisée et associée à une base de données contenant pour chaque maille ses propriétés géographiques et géologiques, qui sont pérennes, et d'autre part les valeurs météorologiques (précipitations, température) qui par nature sont variables. Ces dernières ont comme sources soit des historiques de valeurs mesurées dans le passé, soit des valeurs simulées sur des périodes définies (par exemple 4 années dont une très humide, deux très sèches et une moyennement humide).

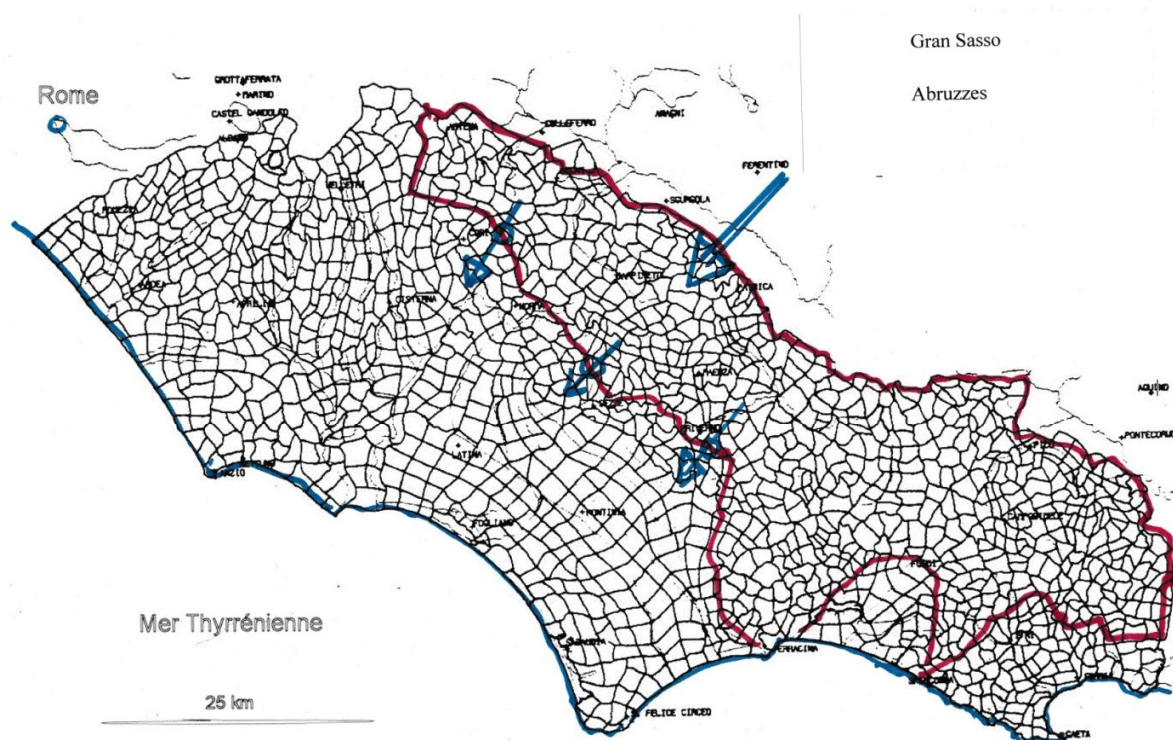


Fig. 6 Schéma du maillage sur la carte numérisée (d'après document de l'auteur)
Le contour rouge entoure la zone de transition entre les montagnes des Abruzzes et la plaine côtière du Latium. Les flèches bleues indiquent le sens général des flux souterrains.

Chaque maille reçoit des flux des eaux de surfaces et souterraines provenant des mailles amont contiguës, plus les précipitations locales, en stocke éventuellement une partie (par exemple dans des lacs, marécages ou eaux infiltrées dans le sol), et en rejette vers l'aval une autre partie. De plus selon la température et divers autres facteurs, une partie de l'eau locale s'évapore. Enfin le modèle tient compte des prélèvements et rejets humains connus en général de façon statistique.

Des algorithmes locaux calculent, à chaque pas de temps et pour chaque maille, les flux entrants et sortants et les stocks. Un méta-algorithme gère synchroniquement l'ensemble des algorithmes locaux sur la région modélisée pour chaque pas de temps de calcul, et gère l'enchaînement sur la période de temps, historique ou simulée.

Les valeurs hydrologiques historiques sont constituées à partir des mesures de débits de sources et rivières de la région, disponibles sur les 50 dernières années sur une centaine de points, et moyennées sur le pas de temps choisi pour la modélisation temporelle (la semaine). Les données météorologiques prises en un nombre plus limité de points sont traitées pour avoir chacune une

valeur pour chaque maille, ainsi que sur la région montagneuse des Abruzzes, réceptacle des principales précipitations, qui alimente en eau avec plus ou moins de retard la zone modélisée.

3. Des flux souterrains à travers des milieux continus et discontinus.

Dans la région modélisée les apports d'eau sont de deux types :

1. **Les eaux de ruissellement** des rivières qui s'écoulent en quelques heures et au maximum quelques jours. Ces flux sont les plus faciles à modéliser dans le temps et leurs débits en chaque maille et en chaque pas de temps calculables selon des modèles mathématiques classiques et fiables (sauf dans les cas de débordements diluviens).
2. **Les eaux souterraines** provenant de la région montagneuse et karstique des Abruzzes, zone de précipitations abondantes en automne, hiver et printemps qui s'infiltrant dans le sol calcaire et s'accumulent dans des aquifères profonds et rivières souterraines : ces eaux s'écoulent lentement (en plusieurs semaines ou mois) vers l'aval et pour partie alimentent des sources au pied des montagnes et des collines du Latium, et pour partie poursuivent leur flux souterrain dans les aquifères relativement peu profonds de la zone littorale.

Ce sont ces eaux souterraines qui posent plusieurs problèmes au modélisateur et vont l'amener à créer des solutions nouvelles.

Le premier problème est de modéliser **l'écoulement souterrain lent**, sur des durées pouvant aller jusqu'à plusieurs mois et plus précisément de calculer en chaque instant t et en divers lieux de la zone entourée en rouge sur la fig. 6, le débit souterrain entrant en fonction des précipitations qui se sont abattues en des temps antérieurs – mois et même années – sur la zone de recueil de quelques milliers de km^2 (les Abruzzes). La géologie de cette zone étant très chaotique, avec de nombreuses failles liées aux séismes, le parcours souterrain des eaux est pratiquement impossible à modéliser dans le détail. Comme on connaît les historiques de débit de nombreuses sources au pied de la zone montagneuse, ainsi que les historiques de précipitations, il est possible d'utiliser la théorie mathématique de la *convolution*, pour modéliser ce phénomène de *débits retardés* dans sa globalité, temps et espace. On obtient ainsi une approximation des entrées d'eaux souterraines aux frontières de la zone modélisée (fig. 6), du moins en certains points. Il est apparu cependant dans les calculs que les valeurs obtenues par la convolution ne permettaient pas de valider complètement et historiquement le modèle.

Le deuxième problème est de **modéliser localement les flux souterrains dans la zone intermédiaire entre les montagnes et la plaine côtière**. Cette zone de moyennes montagnes et collines (entre 500 et 1500 mètres) a également une structure géologique bouleversée et traversée de failles et divers types de ruptures (voir fig. 6).

A l'époque de la création du modèle les techniques de modélisation des eaux souterraines étaient au point et bien connues pour les zones à géologie uniforme telles que les plaines alluviales et côtières. Ces techniques sont basées sur les équations différentielles (continues) de la diffusion de liquides en milieux poreux qui est l'analogie de la percolation de l'eau à travers du café moulu (fig. 7). Elles permettent la traduction des équations différentielles en algorithmes itératifs où le temps et l'espace sont numérisés par des discontinuités de faible ampleur (pas de temps et mailles des modèles).



Fig. 7. La percolation, écoulement en milieu poreux homogène

De telles équations et les technique numériques associées, qui supposent des domaines à structure uniforme, ou modérément variable, ne peuvent pas s'appliquer à l'ensemble de la région étudiée, mais, dont une grande partie est géologiquement chaotique, donc discontinue, comme la région intermédiaire qui nous intéresse ici. Ces équations continues s'appliquent seulement à la plaine côtière littorale, et dans la zone intermédiaire amont à certains domaines limités et séparés par des discontinuités souterraines.

4. Une création logicielle : le « robinet virtuel ».

Dans l'équipe en charge du projet, la plupart des membres étaient des spécialistes de l'hydrologie théorique et de terrain, qui avaient très peu ou pas du tout l'expérience de la modélisation. Deux membres seulement, dont le chef de projet, avaient une expérience approfondie de la représentation par logiciels des phénomènes physiques, et seul ce dernier avait pratiqué les « mathématiques appliquées¹ » à des phénomènes physique, mais dans un domaine apparemment fort éloigné, celui des ondes de choc dans des fluides compressibles.

L'onde de choc est un front de pression abrupt, une discontinuité brutale, qui se propage dans l'espace du moins tant que son énergie est suffisante. La solution algorithmique pour représenter

¹ Les mathématiques appliquées ont pour principal (mais non unique) objet de traduire les équations de la physique en algorithmes permettant de représenter les phénomènes et de les calculer par ordinateurs.

numériquement ce phénomène, consiste à l'« adoucir » en le représentant pas une succession de petites variations dans la zone du choc (Fig. 8).

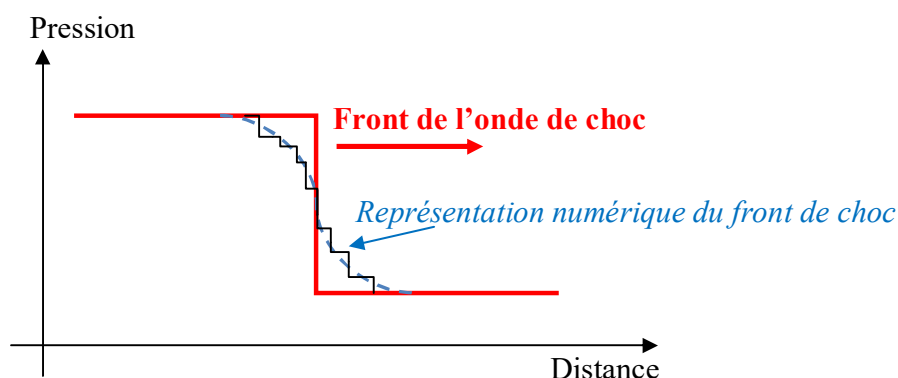


Fig. 8. Une discontinuité forte étalée en une suite de discontinuités faibles

Cette méthode (l'une des premières avancées de la représentation numérique par algorithmes d'un phénomène physique discontinu [Von Neumann 1949]²) permet de traiter une discontinuité majeure en la ramenant à une suite de petites discontinuités infinitésimales, c'est-à-dire à un algorithme calculable (cette question est explicitée en Annexe). Mais le problème posé par le modèle hydrologique était bien différent : il fallait représenter des apports souterrains discontinus dans le temps, mais qui se produisent en des lieux ou zones fixes. De plus les « débits retardés » dont il a été question ci-dessus se sont avérés insuffisants pour rendre compte des débits historiques mesurés des sources et rivières en aval du modèle.

La solution trouvée par l'équipe a consisté à remplacer, en certains points du modèle, les algorithmes quasi-continus par des algorithmes discontinus représentant des débits souterrains intermittents et variables en intensité : c'est ce que nous appelons ici les *robinets virtuels*.



Fig. 9. Le robinet

² Voir la bibliographie *in fine*.

Ces robinets avaient pour fonctions principales de pallier l'insuffisance des apports souterrains par « débits retardés » et l'impossibilité de représenter la totalité du phénomène hydrologique par les équations continues numérisées. Il apparut qu'ils avaient aussi une fonction d'ajustement de l'ensemble du modèle.

La difficulté était de régler non seulement les débits de ces robinets, mais les moments et de leur déclenchement leur durée. Et cela en rendant ces réglages compatibles d'une part avec les apports souterrains venant de l'amont (les « transferts souterrains retardés », mentionnés ci-dessus) et d'autre part avec les débits mesurés des sources et rivières en aval, ainsi qu'avec les prélèvements et rejets liés à la vie économique et sociale.

Après une assez longue période de réglages, le succès de cette solution a été très net, permettant de reconstituer les historiques de débits des sources et rivières sur une cinquantaine d'années avec une précision meilleure que celle des modèles courants à l'époque. Ainsi le travail de l'équipe du projet satisfaisait-il avec une bonne approximation l'objectif d'utilité qui lui avait été assigné par le donneur d'ordre, autorisant des simulations de ressources et d'usages de l'eau.

5. Inversions, intensification, créativité.

Si l'on compare les deux types de phénomènes, onde choc et flux souterrains discontinu, et leurs représentations numériques, on note plusieurs inversions :

Dans les phénomènes (tableau I).

Inversion dans l'espace : l'onde de choc est une discontinuité forte qui se propage dans l'espace, le flux souterrain est une discontinuité fixe dans l'espace.

Inversion dans le temps : l'onde de choc a une valeur constante (tant que son énergie est conservée), le flux souterrain est intermittent et par nature variable en intensité .

	Espace	Temps
Onde de choc en milieu homogène	Discontinuité mobile (se propage)	Intensité fixe (énergie interne supposée constante)
Hydrologie en milieu discontinu	Discontinuités fixes (positionnées)	Intensités variables (débits souterrains d'origine externe à la région)

Tableau I. Deux types de discontinuités physiques.

Dans leur représentation (Tableau II).

	Discontinuité	Représentation	Validation
Onde de choc en milieu homogène	Forte discontinuité locale mobile	Petites discontinuités internes : viscosité artificielle	Locale conditions mathématiques (+ mesures instantanées)
Robinet virtuel	Forte discontinuité locale fixe	Forte discontinuité imposée au modèle : déclenchement, durée	Globale points de contrôles fixes (avec historiques de mesures)

Tableau II. Deux types de représentation numérique des discontinuités.

Onde de choc en milieu homogène : cette discontinuité frontale forte est représentée par une sorte d'escalier dans l'espace-temps qui permet au logiciel de l'étaler et de la rendre calculable localement. Von Neumann et Richtmyer, les mathématiciens et physiciens inventeurs de cette solution, ont réalisé mathématiquement cet étalement en supposant qu'une « pseudo-viscosité » « amollit » la zone du choc. Pour passer à la numérisation, c'est-à-dire de la mathématique continue à un algorithme à petites discontinuités, la « pseudo-viscosité » est soumise à des conditions mathématiques complexes qui constituent une contrainte locale (faible épaisseur du « choc », propagation de la discontinuité).

Robinet virtuel : les discontinuités « brutales » de débits souterrains des *robinets virtuels* sont imposées sur certaines mailles du modèle, initialement sans précaution de continuité, mais il faut les ajuster dans le temps et l'espace du modèle : cela se fera en comparant les débits des sources et rivières, calculées par le modèle, aux mesures historiques aux mêmes points de contrôle et aux mêmes temps. Cette validation suppose que ces *robinets virtuels* ont des effets globaux sur l'ensemble du modèle, elle peut être qualifiée de *holistique*.

Dans cette prise en compte holistique du phénomène des flux souterrains un double processus a ainsi été mis en œuvre :

- 1) les flux continus et les flux discontinus ont été intégrés dans l'hydrologie globale du domaine géographique étudié, grâce à un enchaînement d'algorithmes très différents ;
- 2) les « robinets virtuels » sont validés par des itérations temporelles passé-présent-avenir : on répercute les différences relevées entre mesures (passées) et calculs (présents) sur les débits des « robinets » et l'on relance la modélisation pour obtenir progressivement une convergence mesures-calculs qui signalera une simulation pertinente - aux approximations près - et donc une prévision aussi correcte que possible. Cette convergence est obtenue de manière semi-automatique, supervisée par le modélisateur.

Le temps et l'espace du modèle sont une réduction, une *intensification* de l'espace géographique et du temps historique du *réel* représenté par le modèle, ce qui se traduit par une *déréalisation* : « une carte n'est pas le territoire »³. Le modèle manifeste une *seconde intensification*, celle du temps : au temps historique qu'il simule (jours, mois, années, dates), s'ajoute un temps « artificiel » nécessaire aux pas de calcul, c'est le *pas de temps* des itérations algorithmiques. Ces deux formes d'intensification sont intrinsèques à l'opération même de modélisation logicielle.

Une **double intensification, associée aux inversions** : nous retrouvons ici la structure dynamique d'*inversion intensificatrice d'inversion* qui a été présentée par Raymond Abellio dans *La structure absolue* [Abellio 1965] comme la marque phénoménologique et génétique essentielle, et par laquelle nous caractérisons ici la création. Cette structure dynamique a été repérée dans l'étude sur la création artistique dans la genèse du tableau de Picasso *Les Femmes d'Alger*, objet de la deuxième partie de la présente étude⁴.

6. La création d'un logiciel : essai de structuration génétique.

La création du logiciel ne doit pas être réduite aux objectifs utilitaires du projet. Nous proposons ici, dans la ligne de la pensée de Raymond Abellio, sur le modèle de la *structure absolue*, une représentation génétique et structurelle de la création de logiciel. Soulignons que ce schéma n'est pas une recette produisant une solution, mais une approche qui a une visée beaucoup plus large, initialement méthodologique, globalement métaphysique. Nous l'appliquons ici comme méthodologie et comme épistémologie permettant de poser un problème, ce qui n'exclut évidemment pas la présence de la dimension spirituelle.

Dans ce champ, nous nous intéresseront d'abord au plan de la réalisation, de l'effectuation, représenté comme « horizontal » dans le schéma abellien, plan où se manifeste une double dialectique croisée sur quatre pôles. Puis nous représenterons dans une dimension « verticale » les fonctions motrices et résultantes de l'action créatrice, c'est-à-dire vers le « bas » une incorporation de résultats qui est aussi une source de motivations, et vers le « haut » une émanation vers un psychisme universel, qui est aussi source d'inspiration. Le schéma à 6 pôles de la *structure absolue* abellienne se voit ainsi explicité par 8 flèches, dans une dynamique dont chaque pôle peut en principe être initialement actif ou passif.

La mise en œuvre de cet structuration génétique, en tant que méthodologie, nécessite d'abord de trouver et nommer les pôles en opposition à la fois dialectique et dynamique qui caractérisent le

³ Expression due à Alfred Korzybski, *Science and Sanity, an Introduction to Non Aristotelian Systems and General Semantics*, 1933, consultable sur <https://web.archive.org/web/20040205124242/http://www.esgs.org/uk/art/sands.htm>.

⁴ La structure de l'*inversion intensificatrice d'inversion* n'est pas un processus décomposable en éléments de l'espace et du temps, nous voulons ici seulement la repérer par ses figures et signaux dans l'espace et le temps.

mieux le champ considéré. Il importe aussi de détecter les combinaisons qui répondent à des situations pertinentes ou non dans le champ étudié. De plus des discontinuités qualitatives peuvent être induites par certaines étapes de la structuration, et modifier celle-ci. La structure de cet ensemble est appelée *sphérique* par Abellio car elle doit non seulement être considérée dans ses bouclages, mais aussi et surtout dans la vision de sa globalité (Fig. 10). L'aspect bouclage est évidemment justiciable de traitements algorithmiques mais qui doivent s'articuler avec des discontinuités et s'insérer dans une vue globale. Commençons par la désignation des pôles.

Le plan « horizontal » de la structure.

Le premier axe de ce plan est celui des *acteurs* de la création logicielle. Le pôle « créateur » désigne une équipe (développeurs, chef de projet, artistes concepteurs, conseillers...) formant une unité fonctionnelle et, dans le meilleur des cas, spirituelle. Le pôle que nous nommons « environnement culturel » comprend à la fois l'environnement entrepreneurial du créateur (hiérarchie, clients, marché) et à son environnement professionnel technique et scientifique. Quand le pôle « créateur » est actif il s'agit d'un projet à forte charge d'invention qui vise une recherche technico-scientifique. Lorsque le pôle « environnement culturel » est actif, il s'agit d'un projet à forte composante socio-économique, ce qui n'exclut pas l'innovation, mais contraint ou modère l'invention et la met au service prioritaire de l'utilité. Ces deux pôles sont en tension permanente et en nécessaire collaboration.

Le deuxième axe horizontal est celui des *formes* qui manifestent l'action créatrice. Ce sont ici des structures de programmes à divers stades d'élaboration et de disponibilité. L'environnement technique propose de telles formes qui sont les éléments du savoir-faire du domaine et de l'époque : il s'agit de solutions « clés en main » mais surtout de styles, par exemple des formes ou genres de programmation qui ont fait leurs preuves au cours des quelques décennies de développements de logiciels (et qui parfois ne sont pas exempts d'effets de mode).

Sur cet axe horizontal des formes, disponibles et nouvelles, s'exprime la connaissance technico-scientifique de l'équipe, mais aussi son savoir-faire et son intuition. C'est l'axe des voies et moyens de la création logicielle. La tension entre les formes existantes et la vision des formes nouvelles conduit à créer l'architecture logicielle.

La création d'un logiciel dépasse ainsi largement les opérations de programmation (« codage ») qu'on pourrait comparer au travail de maçonnerie d'un bâtiment. Et dans ce monde dit « virtuel » l'architecture initialement conçue est transformable dans le cours de la réalisation. N'est-ce pas aussi une caractéristique de la création artistique ?

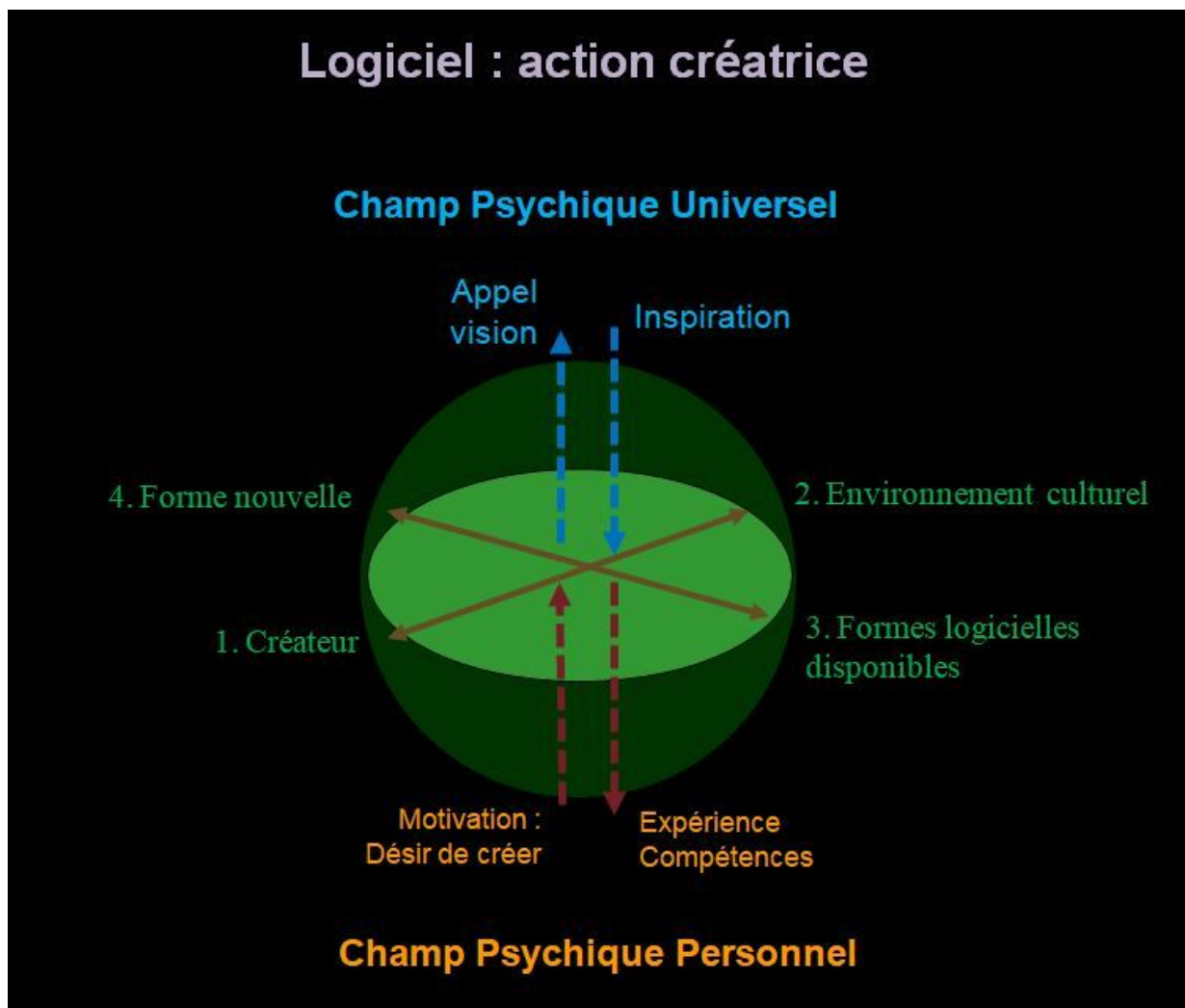


Fig. 10. Une vision structurée de la création d'un logiciel

Dans le processus de création, chacun des quatre pôles « horizontaux » peut être initialement actif : l'environnement (par une demande du marché ou de la hiérarchie), le créateur par sa motivation le désir de créer. Ce désir créatif est initialement celui de l'inventeur, qui ensuite l'insufflé à l'équipe, si du moins l'environnement ne s'y oppose pas. Car l'environnement peut s'avérer passif, ou intimidant ou même bloquant, surtout si la pulsion créatrice heurte le consensus établi dans la profession ou sur le marché ; il peut aussi être encourageant. Cette confrontation est active dans tout processus de création, qu'elle soit artistique, scientifique ou technique, comme le montre en abondance l'histoire des arts, des sciences et des techniques.

L'axe « vertical » de la structure.

Sur cet axe nous identifierons les fonctions qui font émerger la création et celles qui permettent d'en « recevoir » les résultats et de relancer la création. Fondamentalement, l'axe vertical de cette

structure exprime l'interaction du créateur avec le monde psychique, interaction ou résonance qui peut être qualifiée d'intersubjectivité, d'interdépendance universelle ou d'autres nominations selon la perspective de notre regard. Dans la présente étude, nous supposons que la création, qu'il s'agisse d'art ou de technique, ne peut se réaliser sans des échanges, conscients ou non, du créateur avec le psychisme universel, ni sans une action, certes actuellement difficile à préciser, de ce qu'Abellio nommait nos « tuteurs inconnus », cette action que de notre point de vue humain, nous nommons « inspiration ».

Au pôle du « bas » et dans le sens d'une verticalité « montante », la *motivation* qui anime le créateur part d'un psychisme que nous qualifions ici, provisoirement, d'« individuel » car le créateur est le canal par où s'exprime une pulsion qui sans doute le dépasse mais qu'il ressent comme une intensité intérieure. Également dans le sens « montant » la créativité du créateur (de l'équipe) se projette en une *vision* qui est aussi un *appel* au monde du psychisme que nous qualifions ici, provisoirement, de « collectif », mais que dans une vision plus large nous nommerons « champ psychique universel ». Ce champ doit être considéré comme la source émettrice d'idées et de formes (d'« essences » dans un vocabulaire qu'Abellio reprend à la philosophie idéaliste classique) : c'est la source *inspirante*. Le créateur *inspiré* est celui qui par sa vision lance un appel au champ psychique universel, mais qui surtout est ouvert à cet universel et à ce qu'il diffuse. On peut donc dire symboliquement que l'inspiration est une action « descendante ». Dans cette même direction descendante, les *expériences* et *compétences* sont acquises par le créateur, mais à travers lui par le fonds psychique commun (de la profession, du milieu, etc...), et s'inscrivent dans l'hémisphère du « bas » de la structure, sous forme d'une utilité disponible.

Le fait que le chef de projet ait pratiqué les algorithmes d'onde de choc a certainement joué un rôle dans la naissance de la solution du problème hydrologique discontinu, de même que sa familiarité avec la pensée d'Abellio, du moins dans son aspect méthodologique et épistémologique.

Nous réservons pour une étude ultérieure l'exploration des multiples combinaisons de cette structure, dont Abellio a donné un exemple sur un autre champ (celui des fonctions sociales) dans l'Annexe I à *La structure absolue* ([Abellio 1965], pp 495-514).

7. L'art, passager clandestin du logiciel.

Y a-t-il de l'art dans la création d'un logiciel ?

Si toute création se fait par une action non répétitive, il y a en effet de l'art dans la création d'un logiciel. La non-répétitivité est l'un des critères de l'art, comme l'affirme Abellio ([SA], ch. 2) qui souligne aussi que l'art oppose la « façon de faire », le style, « l'art et la manière », au

« faire ». Un logiciel, et surtout un logiciel de simulation ou de modélisation, a un style, généralement assez bien perçu par son créateur, bien que peu ou pas perceptible par le « public », et, comme nous l'avons souligné, il déréalise la réalité qu'il veut représenter. Ce sont là des caractères d'une action artistique. Sont-ils suffisants pour affirmer qu'il y a de l'art dans la création logicielle ? N'y faut-il pas aussi une transformation du créateur ?

L'équipe créatrice est certes occupée, polarisée, par l'objectif d'utilité, mais elle est aussi stimulée pour créer, pour réaliser le logiciel qui satisfera cet objectif. Et il est rare que des solutions toutes faites remplissent toutes ces conditions. Il y nécessairement a une œuvre en création. Le technicien « fabricant » de programmes a toujours en lui le germe de l'ingénieur créateur, et l'innovation est à notre époque la pulsion agissante qui fait éclore ce germe créatif. Si ce germe se développe, le technicien-ingénieur devient artiste, en ce sens qu'une vision d'une forme, peut-être d'une beauté, l'habite, comme elle habite le scientifique créateur.⁵

Le créateur de logiciel n'est pas en général conscient des aspects artistiques de son activité, ni même de la « forme belle » de son œuvre, bien qu'il en éprouve parfois une certaine émotion qui est le signal intime (et pudiquement caché) de sa découverte de l'art. Cependant les caractères artistiques d'un logiciel ne peuvent qu'échapper au public non-technicien (par ignorance des formes particulières de ce domaine) et malheureusement aussi à la très grande majorité des connaisseurs de la technique, pour la plupart plongés dans une ignorance « ontologique » de l'art, de la présence de l'art dans toute activité, y compris technique⁶.

Ainsi, dans la création logicielle l'art est le *passager clandestin* de l'utilité.

Mais il est l'essentiel invisible qui anime le désir d'innovation logicielle.

8. La création logicielle entre continu et discontinu.

Comme nous l'avons noté plus haut, créer un logiciel c'est d'abord créer une architecture qui est une organisation d'algorithmes divers répondant à des fonctions définies, mais reliés par « sauts » qui eux ne sont pas définis, si ce n'est provisoirement et « plus tard » par le regard rétrospectif sur l'action créatrice. Nous qualifions ces sauts de « métalogiques » ce qui signifie non pas qu'ils sont illogiques mais qu'ils sont au-dessus ou en dehors de la continuité logique de chacun des algorithmes qu'ils relient (Fig. 11). Par ses hypothèses et ses règles de fonctionnement, un

⁵ Voir, au sujet de la créativité « artistique » dans le domaine scientifique, l'ouvrage de Cédric Villani ([Villani 2018]), qui contient un extrait de *Science et Méthode* de Henri Poincaré.

⁶ Le mot grec ancien *technè* (τέχνη) signifiait à la fois fabrication et art, c'est-à-dire : œuvre d'art et art en œuvre. Cette double sémantique ne subsiste guère aujourd'hui que dans l'artisanat.

algorithme exprime une continuité logique, même s'il se déroule dans le mode du « petit » discontinu informatique (le *bit*, le 0-1).

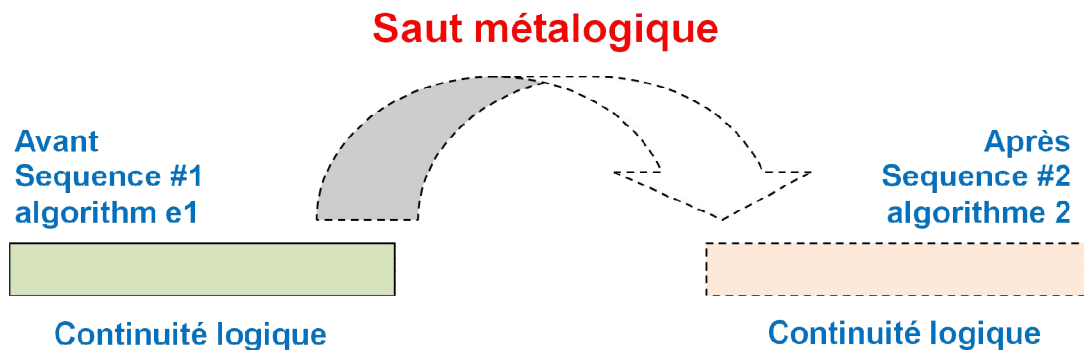


Fig. 11. Continuités et discontinuités dans une architecture logicielle.

Dans le modèle hydrologique en milieux discontinus les algorithmes représentés en 1 et 2 sont de type « mathématiques appliquées » : ce sont des programmes qui « numérisent » les équations de diffusion de l'eau en milieu poreux (percolation), ainsi que des programmes de type « débits retardés » dont il a été question ci-dessus (section 3). Ces programmes ont leur source dans la mathématique infinitésimale inventée par Newton et Leibniz vers 1680-90 (voir l'Annexe I). En contraste, dans le schéma de la Fig. 11, le saut métalogue, réalisé par un « robinet virtuel », est une **rupture locale** dans l'espace et le temps car il se déclenche en des lieux et des moments choisis du fonctionnement du modèle. Mais il n'est pas que cela : c'est une discontinuité **structurelle** car il modifie la structure du modèle. Celui-ci n'est plus un automate au comportement entièrement prévisible, mais un acteur interagissant avec un environnement matériel et informationnel, physique et psychique, riche en discontinuités de forme et de nature.

La *création* de telles discontinuités structurelles modifie aussi la structure de l'acte même de modélisation. Elle exige de la part de leur créateur une discontinuité de son comportement, non seulement scientifique et technique, mais en tant que sujet. Le créateur doit se projeter, s'affranchir de la *technologie dominante* (mathématique du continu) sans rejeter ses acquis. Il ne peut réussir cela qu'en s'ouvrant à l'intersubjectivité. C'est surtout en cela qu'il œuvre comme créateur.

9. Création de modèles de la création.

La nécessité de nouveaux modèles logiciels de la création soulève des questions qui sont communes avec celles de la création artistique, même si les formes en sont différentes.

Le saut créatif et son environnement : dans le temps et hors du temps

Le saut créatif est imprévu dans son déroulement mais il part d'une base existante qui résulte elle-même d'un passé, et il se projette dans un *à-venir* qui n'est pas indépendant du domaine de cette création : le saut opéré dans la création logicielle se projette vers un nouveau logiciel, de même que la création artistique se projette dans une nouvelle forme picturale ou musicale. Mais quelque soit le domaine, le résultat d'un saut créatif est relié à l'histoire du créateur, à son environnement passé et présent. Le déterminisme étant exclu du phénomène de création, ce résultat ne peut être que virtuellement multiple, c'est-à-dire constitué par un ensemble d'états affectés chacun d'une probabilité, parmi lesquels l'acte créateur opère une sorte de choix. L'acte créateur agit dans une globalité multidimensionnelle qui n'est pas seulement spatiale et temporelle, mais qualitative. La notion de « résultat » doit donc être elle-même « libérée » de la succession, du temps linéaire, et le modèle de la création doit prendre en compte cette liberté.

Mémoire technique et « mémoire intersubjective ».

Il ne s'agit pas seulement ici d'inscrire les différents types de sauts créatifs dans une base de données mais de chercher comment peut être modélisé l'accès remémoratif du créateur aux sauts qu'il a lui-même opérés précédemment, et à des modes de création qui résident dans une « mémoire intersubjective », intemporelle.

Dans le « monde réel », le créateur dispose de sa mémoire personnelle (plus ou moins fidèle), ainsi que de la connaissance acquise collectivement dans son domaine. Et il peut accéder, grâce à l'inspiration, au psychisme universel, ou au moins à certaines formes d'intersubjectivité. Il le *peut* virtuellement, mais le fait-il réellement, si ce n'est selon ses propres capacités d'ouverture (voir fig. 10) ?

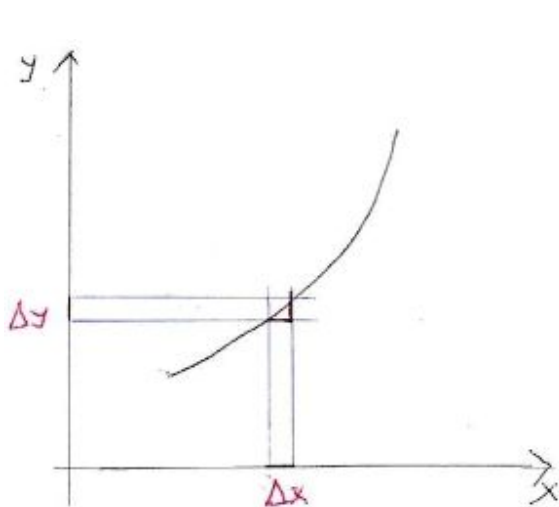
Dans le « monde du modèle » l'agent (l'opérateur) qui représente le créateur aura accès à une base de données des sauts créatifs, ce qui en soi est plutôt banal en informatique, même si la typologie de ces sauts pose des problèmes qualitatifs préalables à toute réalisation technique. Mais l'essentiel est ailleurs : comment représenter par logiciel le « champ psychique universel », l'agent créateur et son accès au champ universel ? L'ambition est certes immense, mais il est possible d'avancer dans cette voie de façon progressive en testant diverses hypothèses mathématiques et techniques compatibles avec la philosophie de notre approche. Une telle approche ne saurait avoir pour fin une représentation automatique de l'acte de création, elle est une voie de connaissance parmi d'autres.

La création de modèles de la création modifie le modélisateur, qui accepte d'être modifié et s'ouvre à l'« inspiration », comme l'artiste est supposé le faire.

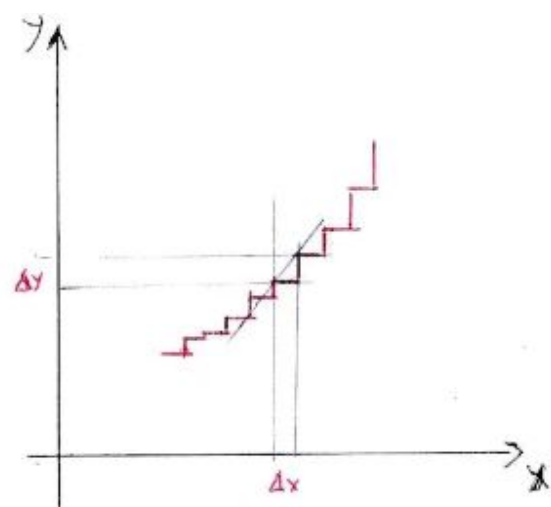
ANNEXE

Du continu au continu en passant par le discontinu : à la poursuite des inversions et des intensifications.

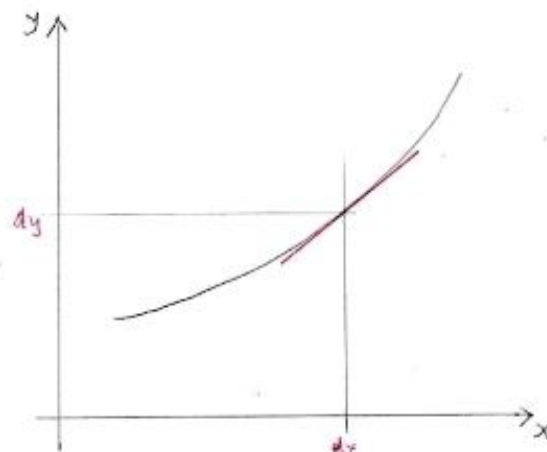
La mathématique infinitésimale a été inventée par Newton et Leibniz vers 1680-90. Cette invention a consisté à remplacer une courbe par une suite de petites différences (des « marches d'escalier ») puis de faire tendre ces petites différences vers zéro pour en faire naître un objet nouveau, la *différentielle* ou *dérivée* qui appartient au domaine du continu (fig. 12), que nous pouvons appeler *continu différentiel*.



12.1 Une fonction continue



12.2. La même en « escalier »
(petites discontinuités)



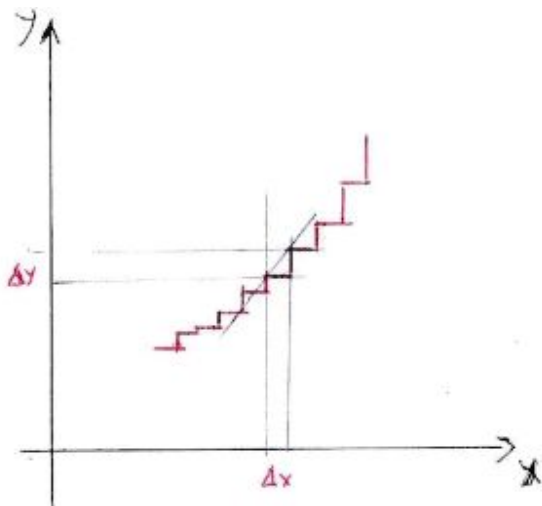
12.3 Les marches tendent vers zéro (retour au continu)
création de la dérivée (pente de la fonction)

Fig. 12. La discontinuité infinitésimale évanescence.

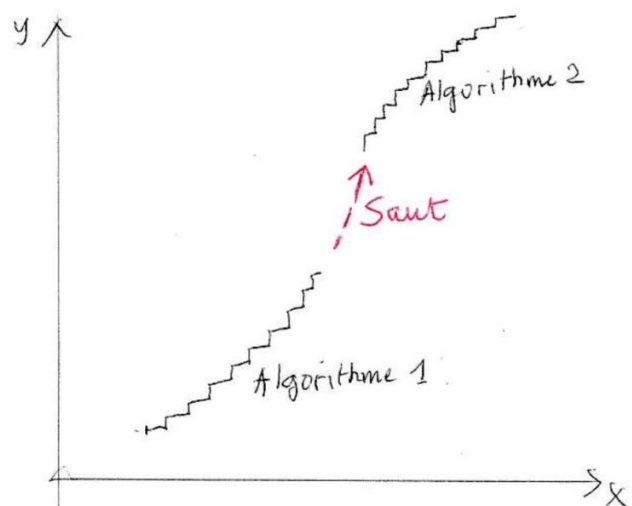
Ainsi, le passage du continu au continu par l'intermédiaire du discontinu se fait par une double inversion. Il réalise aussi une intensification au sens donné à ce terme par Abellio : un nouveau continu est né, enrichi d'objets, d'êtres mathématiques nouveaux et de perspectives pratiques immenses. Ce procédé a été en effet théorisé, et étendu au cours des XVIIIème et XIXème siècles et jusqu'à présent à de très nombreux domaines des mathématiques, l'un des plus illustratifs étant le calcul des mouvements des planètes et satellites.

Au XXème siècle, l'apparition du calcul par ordinateur a nécessité un mouvement inverse : passer des équations continues aux algorithmes à petites discontinuités (de la phase 12.3 à la phase 12.2) : c'est le cœur des « mathématiques appliquées ». Cette inversion conserve la primauté du continu différentiel : le procédé ne s'applique qu'à des domaines dits *différentiables*, c'est-à-dire dotés de propriétés de *continuité*.

Mais le réel est multiformes, multiphases, parcouru de discontinuités qui ne peuvent pas être traduites en petites différences : discontinuités spatiales telles que trous, lacunes, contours de formes ; discontinuités temporelles (flux intermittents par exemple) ; discontinuités qualitatives telles que variations de couleurs, et bien d'autres. La présente étude montre que pour représenter de tels phénomènes, une nouvelle inversion est en cours : les modèles doivent être hybrides, comme le schématise la fig. 13 d'un point de vue linéaire, qui doit être inclus dans une vision globale et structurée, comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises dans cette étude.



13.1 Calcul par petites différences



13.2 Méta-calcul

Fig. 13. Passage d'une discontinuité simple à une (dis)continuité multialgorithmes

Bibliographie

[Abellio 1965] Raymond Abellio, *La structure absolue*, Gallimard, Paris, 1965.

[Abreu-Verney 2017] José Guilherme Abreu et Daniel Verney, « Création artistique et modélisation logicielle », in *Rencontres Raymond Abellio 2017*, consultable sur : <https://www.rencontres-abellio.net/Documents/abreu-verney%202017.pdf>

[Poincaré 1908] Henri Poincaré *Science et Méthode*, Paris, Flammarion, 1908.

[Villani 2018] Cédric Villani, *Les mathématiques sont la poésie des sciences*, Paris, Flammarion, Collection Champs, 2018.

[Von Neumann 1949] J. Von Neumann, R. D. Richtmyer, “A Method for the Numerical Calculation of Hydrodynamic Shocks”. *Journal of Applied Physics*, Vol. 21, No. 3., pp. 232–237, sept. 1949.
