



## De l'arbre à la forêt : singularité et généralisation dans les modèles physiques

Isabelle CHAMPION\*

INRA, UMR 1391 ISPA, F-33140 Villenave d'Ornon, France  
Bordeaux Sciences Agro, UMR 1391 ISPA, F-33170 Gradignan, France

\* Correspondance : [isabelle.champion@inra.fr](mailto:isabelle.champion@inra.fr)

DOI: 10.18713/JIMIS-170117-1-4

Soumis le 2 décembre 2015 – Publié le 1<sup>er</sup> septembre 2017

Volume : 1 – Année : 2017

Titre du numéro : **Singularités dans les systèmes complexes**

Éditeurs : *Dominique Badariotti, Pierre Beust, Roger Cozien, Serge Mauger et Jean-Pierre Muller*

---

### Résumé

Dans tout problème de science et en particulier ceux qui impliquent une modélisation de phénomènes physiques à l'aide d'un ensemble d'équations mathématiques, la question de passer du singulier au général est centrale.

L'exemple développé ici est celui de la modélisation du signal électromagnétique d'une forêt afin d'exploiter des images satellitaires pour diverses applications. Pour interpréter le signal reçu, le physicien utilise donc un modèle mathématique qui résume le savoir en cours sur la formation du signal en fonction des caractéristiques de la forêt.

La discipline produit énormément de travaux de modélisation qui utilisent des données sur les arbres et les descriptions de l'arbre sont souvent traitées comme secondaires par rapport à la construction de l'appareil mathématique. Or, la description de l'arbre qui va produire le fichier d'entrée du modèle est fondamentale pour le calcul du résultat. Il semble que cette description est traitée comme une non-question de recherche peut-être parce que c'est un objet naturel et non une création de la technologie, ou parce qu'il s'agit d'un objet mesurable par des moyens simples, qu'il est immédiatement accessible (contrairement à la description de l'ADN par exemple).

Bref, un arbre : ça crève les yeux... Or, nous montrons ici que l'arbre du physicien est une création totalement nouvelle et originale et que c'est le résultat d'un travail complexe d'élaboration au même titre que l'établissement des équations qui composent le modèle mathématique.

### Mots-clés

Représentation, forêt, arbre, architecture, modélisation, télédétection, échantillonnage

---

*Jadis*

*les arbres*

*étaient des gens comme nous*

Jacques Prévert

## I LE CONTEXTE DE L'ETUDE : LA TELEDETECTION SPATIALE DES FORETS



<sup>1</sup>Cette réflexion trouve son origine au cœur d'un champ de recherche récent (une quarantaine d'années) à savoir la télédétection utilisant des capteurs qui fonctionnent dans les longueurs d'onde radar. En effet, la photographie puis des capteurs dans les longueurs d'onde optique sont utilisés depuis des décennies à bord de toute sorte de porteurs : grues, dirigeables, ballons sondes, « cerfs-volants » (voir figure 1, un modèle actuel de cerf-volant météo), para-moteurs, drones, avions, satellites. Chacun d'eux étant utilisé de préférence selon les moyens de l'époque et aussi selon l'échelle d'espace et de temps recherchée : information répétée sur une petite surface, ou bien information mensuelle sur une région, ou encore, à l'échelle d'un continent... Ainsi, pour l'évaluation de la biomasse forestière à l'échelle globale, le satellite est l'outil approprié.

Quelles que soient la nature et la zone d'intégration du porteur, un signal provenant de la surface visée par le capteur est enregistré et ses paramètres (intensité, polarisation de l'onde, phase...) sont susceptibles de donner des informations sur la zone mesurée (forêts, glaces du pôle, océan...).

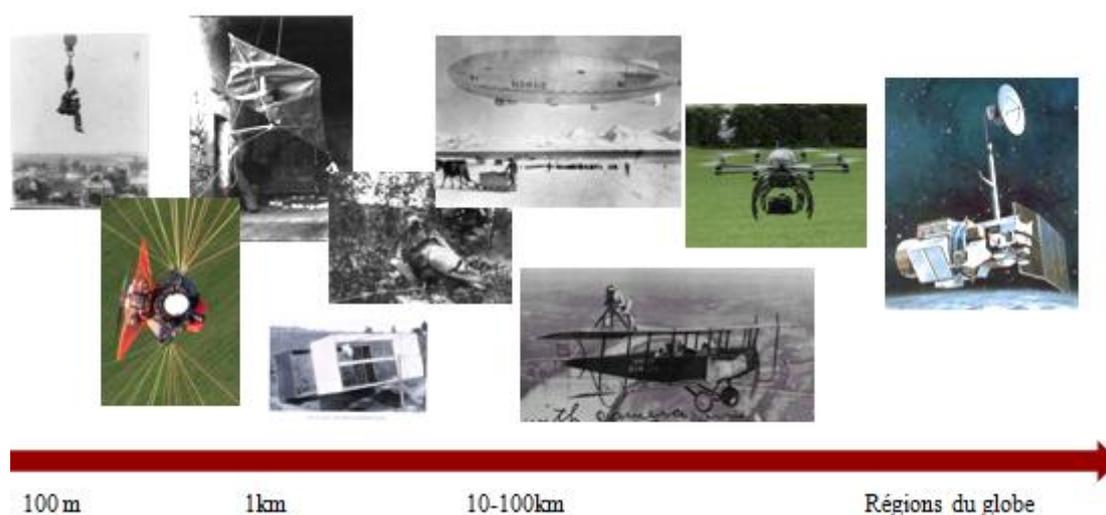


Figure 1 : Télédétection à différentes échelles d'espace : de l'échelle locale à la couverture globale (Champion, 2012).

L'observation de la forêt par satellite permet d'évaluer la croissance des forêts et leur extension en particulier en cas de catastrophes naturelles (incendies, tempêtes, inondations...), ainsi que leur biomasse. En effet, la caractérisation de la biomasse forestière disponible est particulièrement importante dans le contexte actuel pour évaluer la ressource renouvelable (biomasse énergie, industrie papetière, bois de construction...). L'évaluation de la biomasse est aussi cruciale pour alimenter les modèles de prévision du réchauffement climatique une fois que

<sup>1</sup> En vignette, l'érable de Clémence : un arbre singulier.

la biomasse estimée par satellite est traduite en quantités de carbone stockées dans les forêts ou relarguées dans l'atmosphère après incendies, tempêtes ou défrichages<sup>2</sup>.

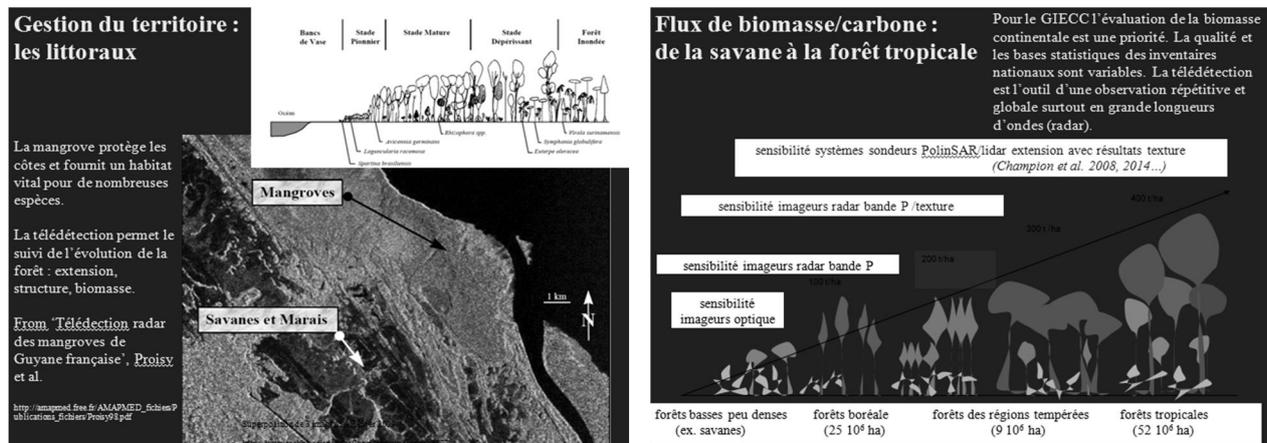


Figure 2 : L'observation de la forêt est primordiale pour des questions de protection des écosystèmes, de biodiversité et pour les recherches sur le changement climatique (Champion, 2012).

## II LA MODELISATION MATHÉMATIQUE DU SIGNAL

the scattering coefficients, instead of using the forward scattering theorem as is done for the branches and trunks.

The 3D vector scattering model is used to calculate the phase matrix required for all scattering terms that involve the ground. The surface roughness spectrum is taken to be the exponential function.

**Model Formulation**  
Consider a partially polarized plane wave exciting the canopy in  $(\theta, \phi, \alpha)$  direction with the Stokes parameters vector given by

$$\begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0(1 + \cos 2\theta \cos 2\phi) \\ I_0 \cos 2\theta \sin 2\phi \\ I_0 \sin 2\theta \cos 2\phi \\ I_0 \sin 2\theta \sin 2\phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

where  $I_0$  is the Dirac delta function. The angles  $\theta$  and  $\phi$  define the orientation and ellipticity angles of the transmitting antenna, respectively (Lopes et al., 1991). The transmit solution to the vector radiative transfer equation yields an average in the scattered direction,  $\langle \mathbf{M}(\theta, \phi) \rangle$ , as

$$\langle \mathbf{M}(\theta, \phi) \rangle = \begin{bmatrix} \langle S_{11} \rangle & \langle S_{12} \rangle & \langle S_{13} \rangle & \langle S_{14} \rangle \\ \langle S_{21} \rangle & \langle S_{22} \rangle & \langle S_{23} \rangle & \langle S_{24} \rangle \\ \langle S_{31} \rangle & \langle S_{32} \rangle & \langle S_{33} \rangle & \langle S_{34} \rangle \\ \langle S_{41} \rangle & \langle S_{42} \rangle & \langle S_{43} \rangle & \langle S_{44} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

where the averaging,  $\langle \cdot \rangle$ , denotes the temporal spectrum. The polarimetric signature represents the ratio of the received power to the incident power for all polarization states. The co-polarized signature is obtained by setting  $\alpha = \theta$  and  $\beta = \phi$ , and the cross-polarized signature is obtained by letting  $\alpha = \theta$  and  $\beta = \phi + 90^\circ$ .

**MODEL VALIDATION**  
In this section, validation of the multi-layer canopy model is carried out. This is done in two steps. First, the forward scattering coefficients are calculated

<sup>3</sup>Le modèle est l'ensemble des relations mathématiques qui rendent compte des phénomènes physiques d'interaction (réflexion, diffusion, atténuation) entre l'onde électromagnétique et les objets qui sont dans le champ du capteur (arbres, sol, sous-bois...). Ces phénomènes d'interaction conditionnent le signal mesuré qui se traduit en niveaux d'énergie enregistrés par le capteur pour chacun des pixels de l'image.

Sur une forêt, chaque pixel sera donc le résultat de l'interaction entre l'onde et une zone forestière, le nombre des arbres contenus dans un pixel étant plus ou moins important selon la résolution spatiale du système.

La connaissance des interactions entre l'onde et la structure de l'arbre nécessite d'intégrer dans le modèle les caractéristiques des éléments que l'onde est susceptible de rencontrer. Ces caractéristiques sont celles des éléments significatifs qui caractérisent la structure de l'arbre. Significatifs s'entend par rapport à l'interaction électromagnétique à savoir : assez « gros » par rapport à la longueur d'onde<sup>4</sup> ; ou bien, dont les propriétés induisent de la réflexion ou de la diffusion de l'onde (par exemple en télédétection radar : une surface rugueuse ou un volume hydraté ; une surface lisse induit de la réflexion dans une zone plus limitée de l'espace et un matériel très sec sera presque transparent à l'onde radar qui interagit avec les fréquences de vibration de la molécule d'eau).

Aussi, la modélisation physico-mathématique du signal observé nécessite-t-elle des informations sur la structure de l'arbre et ces informations sont nombreuses. Cette question a déjà fait l'objet

<sup>2</sup> cf. <https://www6.bordeaux-aquitaine.inra.fr/ispa/Recherche/Equipe-Teledetection-et-Spatialisation/Pages-personnelles-equipe-T-S/Isabelle-Champion> pour plus d'information sur l'ensemble des recherches.

<sup>3</sup> En vignette, extrait de l'article fondateur qui explique les bases du modèle mathématique permettant de calculer le signal radar d'une forêt : M.A. Karam, F. Amar, A.K. Fung, E. Mougin, A. Lopes, D. Le Vine and A. Beaudoin, "A Microwave Polarimetric scattering model for forest canopies based on vector radiative transfer theory", *Remote Sens. Environ.*, vol. 53, pp. 16-30, 1995.

<sup>4</sup> En l'occurrence ce travail a été réalisé avec des images radar acquises en bande P (longueur d'onde > 0.1m). Les éléments engendrant de la réflexion sont donc les grosses structures: troncs, grosses branches et rameaux, paquets de feuilles, pommes de pin...

d'une réflexion sur l'aspect contextuel de la description de la forêt qui est utilisée dans la modélisation.

En effet, il est possible de décrire le même arbre de plusieurs façons ce qui a des conséquences sur les résultats du modèle (Champion, 2010). Or, ce qui peut paraître un truisme car c'est un système à plusieurs paramètres, n'avait jamais été formulé dans cette discipline où des descriptions de l'arbre très limitées sont utilisées dans les travaux publiés sur le sujet.

Mais aussi, ces informations sont très différentes des informations qu'un forestier ou un botaniste a l'habitude de manipuler. Par exemple, la surface foliaire renseignera le physiologiste sur la bonne santé de l'arbre par sa capacité à photo-synthétiser le rayonnement solaire, les caractéristiques de l'appareil reproducteur seront détaillées par le botaniste, ou encore le forestier mesurera le diamètre du tronc à hauteur de poitrine pour évaluer la quantité de bois d'oeuvre sur pied.

L'arbre du physicien est donc une création totalement nouvelle et qui nécessite des mesures originales qui n'ont jamais été réalisées. Le physicien est amené à construire son arbre lui-même et c'est un processus compliqué : qu'est-ce qui est important, quelle représentativité des mesures, quelle définition d'un élément diffuseur (par ex. une branche : la branche avec ses rameaux ? Avec ses feuilles ? Sans feuilles ni rameaux ?), etc.

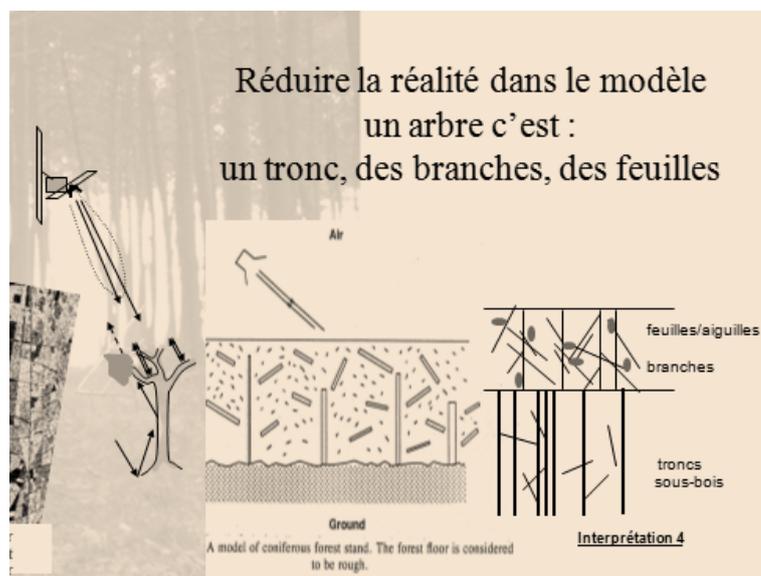


Figure 3 : La collection d'une base de mesure de terrain génère des milliers de mesures pour des représentations en termes de volumes types : cylindres, ovoïdes, sphères...

Au fil du temps, une représentation de l'arbre pour un type de modélisation mathématique s'est imposée dans le domaine de la modélisation du signal radar et les chercheurs ont repris successivement cette représentation « standard » en la modifiant à la marge.

Or, sur la base d'un jeu de données très complet, Champion et al (2001) ont montré qu'il était possible de construire une gamme de sous-représentations de l'arbre à partir de cette représentation « standard » qui remplissaient les attendus imposés par le modèle mathématique (assimilation des éléments diffuseurs à des volumes simples, hypothèse de répartition homogène et aléatoire des diffuseurs dans le volume...). Il s'est avéré qu'un certain nombre de ces sous-représentations étaient toutes aussi légitimes les unes que les autres.

Aussi, la représentation à prendre en compte dans le modèle mathématique n'est pas unique mais il y en a un certain nombre et ce nombre est indéfini. Or, si de nombreux travaux ont évoqué la question des incertitudes sur la mesure de tel ou tel paramètre de la forêt (la hauteur totale, le diamètre des troncs...) aucun travail n'a été publié sur la pluralité des représentations d'un arbre qu'il était possible de faire à partir d'une base de données acquise sur une parcelle forestière.

### III L'ARBRE COMME INVENTION



<sup>5</sup> Ce qui nous intéresse ici n'est pas que l'arbre du physicien n'existe pas, ne soit pas vrai ou qu'il ne soit pas unique à représenter une même réalité, mais c'est la façon dont s'est construit le raisonnement sur la représentation de l'arbre.

Dans la première phase de développement de ces modèles, en 1980-1990, les physiciens sont d'une communauté presque exclusivement composée de techniciens du radar et du traitement du signal. Le sujet est traité comme une extension des problèmes d'écho radar sur des objets (avion, bateau), l'arbre étant considéré comme un objet différent et plus compliqué qu'un avion ou un bateau (même si le problème de l'écho radar sur un avion est déjà compliqué). Les outils de modélisation (diffusions sur des cylindres) sont issus des travaux précédents et étendus à l'objet arbre avec la question des rediffusions multiples (d'une branche sur une autre, du tronc sur le sol, etc.). L'objectif était alors de construire le corpus mathématique qui pouvait rendre compte de ces processus.

Dans une première étape, l'effort a donc porté presque exclusivement sur la construction des équations et leur numérisation (développements en suites finies, approximations...). L'arbre était supposé connu au même titre qu'un avion ou un bateau même si les données n'étaient pas toujours disponibles. Les descriptions de l'arbre étaient alors établies sur des bases disparates (issues de la littérature, d'une expérimentation réalisée par une autre équipe sur un autre site, des mesures effectuées sur le site d'étude mais partielles et non représentatives...).

Ainsi, dans un des articles fondateur de la discipline (Karam et al, 1995) une description standard de l'arbre (des pins maritimes) est donnée comme « réaliste » et cet article pose les bases du modèle qui sera le plus utilisé à partir de 1990 pendant une vingtaine d'années pour simuler le signal rétrodiffusé provenant d'une forêt.

Quelques rares auteurs ont questionné la description « standard » de l'arbre qui s'est ainsi imposée progressivement à travers cette génération d'articles. Ils ont tenté de proposer des variantes plus conformes à la réalité de l'arbre et de son architecture. En particulier, l'hypothèse du milieu diffuseur homogène composé d'éléments diffuseurs aléatoirement répartis dans l'espace et indépendants est très éloignée de la réalité, surtout en ce qui concerne par exemple la répartition dans l'espace des feuilles. Aussi, quelques auteurs ont proposé de traiter les feuilles de résineux en clusters comme des objets diélectriques (Sieber, 1985 ; Kasischke et al, 1994 ; Woodhouse et Hoekman, 2000) car elles poussent en grappe sur une partie de l'extrémité des branches ou des rameaux.

Ainsi, les modèles mathématiques ont-ils été testés à l'origine avec des informations sur l'arbre qui tiennent plus de la vue d'artiste que de la mesure. On fait entrer l'arbre au chausse-pied dans les cases prévues par la physique de la propagation en milieu homogène aléatoire.

Par ailleurs, les informations conformes à cette physique de la propagation et qui décrivent (mal) le couvert forestier ne sont pas obtenues à partir de mesures représentatives. Ces mesures n'étant pas à la disposition du physicien, celui-ci fabrique une construction chimérique de l'arbre faite

<sup>5</sup> En vignette : Henri Michaux, encre, 1979.

de pièces de connaissances disponibles associées à des hypothèses fortes pour boucher les trous de savoir. Ce qui est légitime du moins dans un premier temps car il faut bien prendre le problème par un bout. C'est la construction de l'appareil mathématique qui est alors privilégiée, l'objet mesuré étant relégué au second plan.

#### IV L'ARBRE « TYPE » AU CONTRAIRE DE L'ARBRE SINGULIER



<sup>6</sup> D'après ce qui précède, on s'aperçoit que lors de la construction du modèle mathématique et des premières phases de test, les informations entrées dans le modèle décrivent un arbre inventé. C'est un arbre « choisi » selon l'idée que le physicien se fait d'un arbre : bien développé, complet. C'est l'individu « type » tel que l'a décrit Alain Desrosières dans « *La politique des grands nombres : Histoire de la raison statistique* », et l'individu « type » est posé comme l'arbre « général ».

Alain Desrosières retrace l'établissement des catégories socioprofessionnelles dont les contours et l'évolution suivent l'histoire de la statistique comme science de l'état à partir du 18<sup>ème</sup> s. Il explique ainsi que les familles choisies « typiques » suffisent dans un premier temps à décrire les fonctionnements des

communautés ouvrières : on ne mesure pas, on raconte.

Dans notre cas, l'objet de science utilisé par le modèle - l'arbre - est « raconté », l'arbre « type » sert de support à la construction du modèle. Le physicien ne regarde pas l'arbre, il est occupé à raisonner sur les équations de diffusion de l'onde. L'arbre « type » sert de support au raisonnement de la physique de l'interaction, et, dans un premier temps du moins, c'est tout ce qu'on lui demande même si sa description le rend plus proche du chêne ou du marronnier de plein champ que du pin maritime. Ainsi, le pin standard décrit dans l'article de Karam et al (1995) est en partie faux, le nombre de branches et surtout leur orientation sont très surestimés par rapport aux observations qui seront réalisées ensuite sur un peuplement similaire lors de prélèvements systématiques (Champion et al, 2001).

L'arbre type sera donc un arbre bien déployé ; les accidents, irrégularités, malformations, reprise de croissance par une branche suite à la cassure de l'apex du tronc, voussure due au vent dominant, concurrence des voisins seront ignorés comme non utiles à la construction de la réflexion. L'arbre qui est ainsi décrit est un « bel » arbre qui appartient à la catégorie des individus les plus grands et les mieux développés.

Alain Desrosières explique ainsi que « on néglige l'accident ou l'exception, on cherche le « type », il parle également du « choix judicieux » qui porte le sociologue à décrire les types les plus représentatifs selon l'idée qu'il s'en fait.

L'individu « type » a alors pour fonction de « susciter l'imagination de certains contenus », l'arbre « type » agit alors « comme une fiction ». A. Barberousse et P. Ludwig (2009) expliquent ainsi que ces représentations sont une médiation, un faire-semblant. L'effort est porté sur la construction de l'appareil mathématique et, en parallèle, la description de l'objet devient secondaire. La communauté scientifique présente sur ce domaine de recherche en modélisation s'accorde tacitement pour ne pas se soucier de l'exactitude des caractéristiques de l'arbre dont la description passe au second plan.

<sup>6</sup> En vignette : Pierre Alechinsky, gravure sur papier chine.

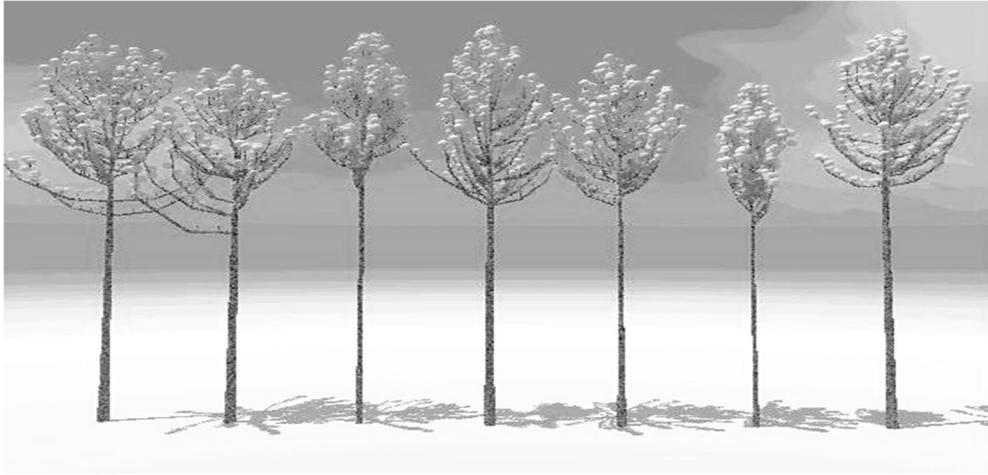


Figure 4 : Silhouettes réalisées à partir des mesures de terrain sur 7 pins de 25 ans (Sanderson G., 1999, maquettes @POV-Ray). Chaque arbre est singulier et très différent des autres.

## V A LA RECHERCHE DE L'INDIVIDU « MOYEN »



<sup>7</sup>A mesure que les modèles se stabilisent et que se précisent leurs domaines de validité, les exigences sur la description de l'objet deviennent *a priori* plus élevées. Les questions de représentativité statistique se posent alors pour tenter de passer d'un arbre « type » à un arbre représentatif d'une population dans l'objectif de produire de la généralité.

La mesure exhaustive d'une population d'arbres est très lourde à mettre en oeuvre aussi existe-t-il dans le monde très peu de jeux de données qui répondent aux exigences de la description physique de l'interaction onde-matière et qui soient complets et statistiquement représentatifs.

Dans le cadre de la modélisation du signal radar d'une forêt, on peut citer deux équipes anglo-saxonnes (Kasischke et al, 1994 ; Woodhouse et Hoekman, 2000) et le travail réalisé en France sur le pin maritime (Champion et al, 2001) et dont les données ont servi à construire les maquettes du pin maritime à l'UMR AMAP.

Seize pins ont été sélectionnés sur une parcelle âgée de vingt-cinq ans dans le but de construire un tel jeu de données représentatives de la parcelle. De très nombreuses mesures ont été collectées (numération, dimension, orientation, photos...) et les maquettes informatiques qui ont été réalisées à partir de ces mesures (cf. graphe ci-dessus) montrent la grande disparité des structures de ces arbres malgré le caractère *a priori* « simple » de la forêt considérée : une parcelle cultivée de la forêt des Landes, tous les arbres sont du même âge, pas de variabilité liée au relief... En outre, ces arbres, désormais produits en pépinière, sont issus de souches génétiques aussi proches que possible.

Par conséquent, dans une forêt où tous les arbres devraient être « pareils », il existe néanmoins entre eux une grande gamme de variabilité. Il faut faire avec tous ces arbres singuliers.

Par exemple, les arbres en peuplement subissent un élagage naturel qui par raréfaction de la lumière fait tomber les branches de plus de douze ans (les grosses branches qui sont à la base de

<sup>7</sup> En vignette, Piet Mondrian, l'arbre argenté, huile sur toile, 1911.

la couronne), cependant certains arbres conservent une ou deux branches de douze ans alors que d'autres n'ont plus de branches de plus de dix ans.

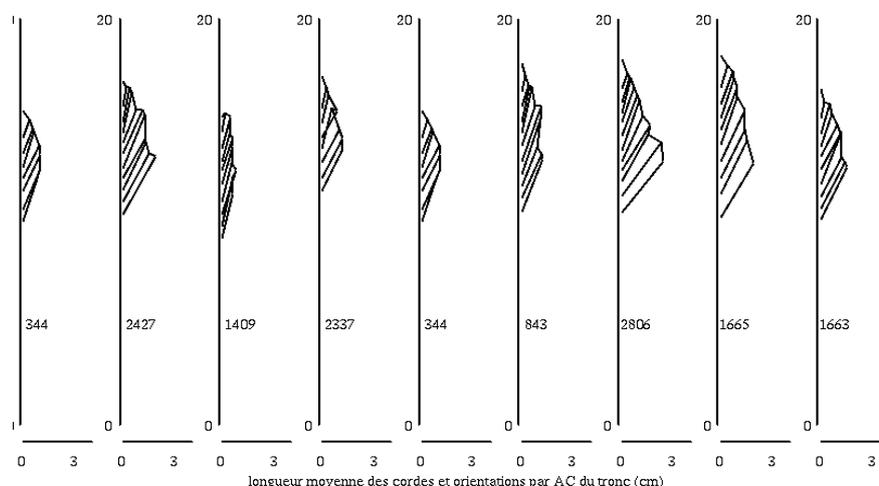


Figure 5 : A partir des mesures, les graphes ci-dessus rendent compte de la variabilité des structures. La hauteur des implantations des branches principales âgées de 1 à 12 ans est basée sur les mesures ainsi que l'orientation moyenne des branches afin de schématiser la silhouette des couronnes.

Autre exemple, lors des poussées de croissance, les bourgeons terminaux du sommet du tronc et des extrémités des branches et des rameaux s'allongent et produisent des feuilles sur une partie de cette longueur. Généralement les feuilles de l'année précédente et de celle d'avant sont présentes puis tombent, mais certains arbres n'ont que deux années de feuilles.

Encore un exemple : à l'automne, il est fréquent qu'une seconde poussée de croissance provoque un nouvel allongement des parties de l'arbre (le polycyclisme), mais certains arbres ne font presque jamais de polycyclisme.

Un dernier exemple : le niveau de ramification des branches peut aller jusqu'à cinq (un rameau qui pousse sur un rameau lui-même poussant sur un rameau qui pousse sur la branche principale, si la branche est définie comme l'élément ligneux qui s'attache au tronc). Or, certains pins sont très ramifiés alors que d'autres ont très peu de rameaux du 3<sup>ème</sup> ordre (un rameau sur un rameau sur la branche), et aucun d'ordre supérieur.

Bref, les arbres se différencient sous divers aspects ce qui crée une importante variabilité de la structure résultante à l'intérieur de la population (Champion, 1996).

L'établissement d'un individu moyen à partir des caractéristiques de tous ces individus singuliers pose donc des questions difficiles d'agrégation. Il est possible malgré tout de calculer des paramètres moyens à partir des mesures et de reconstituer ainsi un « arbre moyen ».

C'est l'arbre moyen qui, transformé en fichier d'entrée du modèle, sera censé générer le signal moyen mesuré par l'instrument radar.

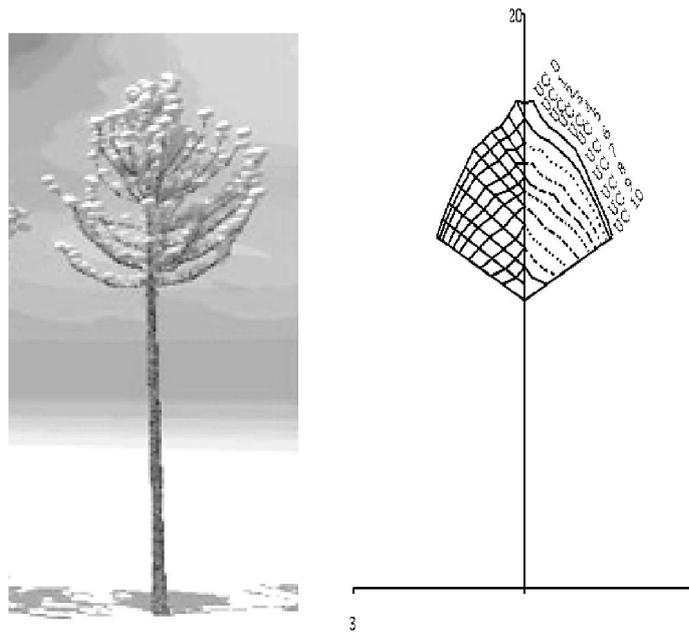


Figure 6 : Sur la base de mesures, il est possible de produire une silhouette d'arbre possédant des caractéristiques moyennes calculées à partir des individus de l'échantillon. A gauche : la silhouette réalisée à partir de mesures faites sur un des arbres les plus grands et dont l'allure se rapproche de celle de l'arbre « type ». A droite, un graphe résumant les caractéristiques moyennes calculées sur les 16 arbres de l'échantillonnage, nombre de branche moyen, orientation moyenne de chacun des niveaux de branches, hauteurs d'insertion moyennes des branches... C'est l'arbre « moyen ».

## VI LA CUISINE DU MODELISATEUR



<sup>8</sup>Une première esquisse d'arbre (l'arbre type) sert à raisonner sur le modèle physique, ensuite quand (si) il y a des données complètes et statistiquement représentatives, alors, un arbre qui résume les caractéristiques moyennes de la population peut être élaboré. De ce point de vue, il est moins subjectif, plus « vrai » et plus incontestable que l'arbre « type ». Par conséquent, ces données ne seront pas aisément remises en question.

En effet, dans le processus de modélisation, il est courant que, faute de données plus précises, des aménagements soient faits avec les données disparates utilisées faute de mieux. Si le calcul du résultat par le modèle ne rend pas compte des observations, que « ça ne marche pas », il est courant de remettre en question les données d'entrée du modèle et de les corriger « au jugé », car leur imprécision peut être à l'origine de l'erreur.

Quelquefois, ce sont des aménagements qui dépassent le champ de la mesure et qui empiètent sur le champ de la modélisation mathématique. En particulier, il est reconnu que les modèles simulant la rétrodiffusion radar sur la base des équations de transfert radiatif sous-estiment les diffusions multiples. Or, le fait de sur-dimensionner la classe des branches dans l'article déjà cité (branches de tailles plus importantes que celles qui ont été mesurées) a sans doute permis de compenser cette sous-estimation liée au modèle mathématique en rajoutant artificiellement des éléments diffuseurs.

<sup>8</sup> Samuel Rousseau "l'arbre et son ombre", galerie C Gastaud, <http://www.claire-gastaud.com/artist/Samuel-Rousseau>.

Ici aussi, on retrouve un trait de pratique scientifique fréquente à ces étapes intermédiaires d'établissement d'une discipline ; Alain Desrosières cite Keynes, qui, selon les témoins du temps, faisait d'abord plus confiance à son intuition qu'aux chiffres fournis par les statisticiens. Si le chiffre ne lui convenait pas, il le modifiait, et si, par hasard, il en était satisfait, il s'émerveillait : « tiens vous avez trouvé le bon chiffre ! ».

Toujours, selon Alain Desrosières, les discussions du XIX<sup>ème</sup> s. se construisent autour d'un double effort, la description et la systématisation du classement, mais alors une partie du savoir-faire issu du flair pratique et de l'intuition peut être jugée comme perdue. Il parle en particulier de l'intuition du médecin-artiste et il affirme que cette tension n'est pas spécifique à la médecine. Nous pouvons affirmer qu'il n'est pas spécifique à aucun domaine de science en particulier car nous pouvons voir le flair et l'intuition intervenir lors des choix réalisés dans les descriptions proposées des objets modélisés.

*« Les divers modes de connaissance en tant qu'ils sont utilisés tour à tour dans les batailles quotidiennes visant à rendre évidente et indiscutable une intelligence du monde parmi d'autres, ne peuvent être traités que symétriquement. Ce parti pris de méthode ne participe en rien à une dénonciation de l'illusion de la science (ou de la statistique) au nom d'autres savoirs injustement abaissés et méconnus. Il cherche à éclairer des situations complexes dans lesquelles des ressources scientifiques ou statistiques sont mobilisés en concurrence ou en complément avec d'autres, afin de comprendre ce qui les fait tenir, et ce qui peut constituer une preuve ».*

## VII EN CONCLUSION : UN ARBRE, ÇA CREVE LES YEUX



<sup>9</sup>Le fait d'avoir des données statistiquement plus représentatives permet de préciser l'image de l'arbre (non pas un bel arbre sans défaut mais un arbre plus étroit, moins fourni...). Il permet également de borner mieux les valeurs que l'on doit attribuer aux caractéristiques de l'arbre.

Mais, une fois établi le socle mathématique, la recherche dans le domaine de la propagation des ondes sur couvert forestier, ne se tourne pas de façon décisive vers la description de l'objet. Puisque finalement, c'est ça qui manque. De ce point de vue, il existe plusieurs attitudes ambivalentes. Les rares équipes dont nous avons parlé et qui sont historiquement associées avec des compétences en physiologie et croissance des arbres sont entrées dans une réflexion fructueuse grâce à la pollinisation croisée des idées. Mais le plus souvent, soit les modélisateurs continuent à modéliser comme si l'arbre n'existait pas ou qu'il était évident.

Dans certains cas, une fois que la mise en place de l'appareil mathématique a généré une série de papiers sur les méthodes, le chercheur qui reste dans sa discipline se tourne vers autre chose, comme si le travail était fait. D'autres, font des tentatives de s'associer avec des biologistes pour « avoir des données » sur les arbres. Dans ce cas, les physiciens/mathématiciens/ingénieurs agissent comme si ces données existaient quelque part, et qu'il n'y avait qu'à les récupérer.

Or, personne n'a jamais eu besoin de compter les rameaux du 3<sup>ème</sup> ordre d'un pin maritime de 25 ans, et si quelqu'un y a passé ses dimanches, il ne considérera pas que c'est trivial et facile d'accès. Ce dont le modélisateur a besoin est tout sauf immédiat et évident.

<sup>9</sup> Raymond Hains, les nouveaux réalistes, environ 1960.

Ce n'est pas « donné » et c'est même coûteux. L'arbre du physicien ou de l'ingénieur demande des mesures originales qui sont extrêmement lourdes à acquérir : plusieurs personnes sur plusieurs semaines pour tronçonner puis mesurer seize pins de 25 ans.

De plus, et surtout, ce n'est pas parce qu'un arbre « ça crève les yeux », qu'il « n'y a qu'à » mesurer. C'est, au contraire, un sujet de science de mesurer un arbre car c'est une création originale, nouvelle, avec son protocole propre, ses choix et ses abandons. L'arbre décrit par le physicien est une création au même titre que la construction de l'appareil mathématique qui décrit la propagation de l'onde dans la forêt.

De plus, cette création s'opère par étapes. En effet, les mesures une fois acquises, leur sélection, leur réorganisation pour élaborer les fichiers de données d'entrée du modèle mathématique font encore intervenir d'autres choix et d'autres abandons qui sont souvent peu explicités ou masqués derrière des justifications de divers types. Par exemple tel élément est négligé dans le modèle « car très petit devant la longueur d'onde ». Ainsi, dans certains articles, les rameaux sont négligés, mais les aiguilles sont conservées dans le modèle bien qu'elles soient encore plus petites que les rameaux. Les fruits, également, ne sont jamais cités, tout le monde n'a pas très présent à l'esprit que le pin maritime peut avoir des pommes de pin en nombre significatif, mais surtout, ces données, généralement, n'existent pas.

Par conséquent, c'est un leurre d'imaginer que le modèle une fois construit, le travail est fini, car « il n'y aura qu'à » mettre les bonnes données de terrain. C'est un leurre d'imaginer qu'il existe quelque part des données qui une fois récupérées diront l'alpha et l'oméga de la représentation de l'arbre et produiront LE fichier d'entrée irréfutable avec lequel le modélisateur pourra tester et valider son modèle mathématique.

Or, en réalité il y a peu d'attention à la façon dont on décrit l'arbre par rapport à la somme de littérature sur la façon dont on décrit la propagation de l'onde. Le système arbre/onde n'est pas pensé de façon symétrique et les choix qui sont faits ne sont pas pensés comme des choix.

Car il y aura toujours de l'incertitude dans la représentation de l'objet et pas seulement une incertitude propre et nette de mesure qu'on peut encadrer dans une barre d'erreur liée au protocole, à la précision de l'appareil, à la taille de l'échantillon. C'est une incertitude fondamentale, qu'on pourrait peut-être qualifier d'existentielle, liée à la façon dont on a décidé de décrire l'arbre et à tous les choix qui sont réalisés tout au long du processus. La description d'un arbre en science c'est un cheminement.



Figure 7 : La taille d'une oliveraie retournée en friche pendant plusieurs années : un savoir-faire de sculpteur basé sur des choix, des décisions...

## Références

- Barberousse A., Ludwig P., (2009). Les modèles comme fictions. Archives ouvertes : [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/05/35/59/PDF/ijn\\_00000501\\_00.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/05/35/59/PDF/ijn_00000501_00.pdf).
- Champion I., (1996). Mesures de structure des pins sur des arbres de 25 ans : parcelle du Bray. Analyse des données d'architecture. 73 pages, 49 figures. /Champion I., 1996. Mesures de structure des pins sur des arbres de 33 ans : parcelle de Berganton. Analyse des données d'architecture. 72 p., 55 figures.
- Champion, I., Loustau, D., Bert, D., Porté, A., Guédon, M., Jean-Courdier, F., Lagane, F., Lambrot, C., Lardit, A., Sartore, M., (2001), Tree architecture determination in remote sensing analytical models : The Bray experiment. *Int. J. Remote Sensing*, 22(9), 1827-1843.
- Champion, I., (2010). Représentation de l'arbre. Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, 17 au 24 janvier 2010, Rochebrune (France).
- Champion I., (2012). Cours de master 2ème année « Sciences de la Terre et Environnement, Ecologie », spécialité « Géo-ressources et Environnement - Parcours télédétection et imagerie », ENSEGD, Université Bordeaux III. Module télédétection radar. Part. I : « Histoire et évolution des techniques », 27 septembre 2012, 3 heures, 56 p.
- Desrosières A. (1993) La politique des grands nombres. Histoire de la raison Statistique, éd. La Découverte, Paris.
- Karam M.A., Amar F., Fung A.K., Mougin E., Lopes A., D. Le Vine and A. Beaudoin, (1995). A Microwave Polarimetric scattering model for forest canopies based on vector radiative transfer theory, *Remote Sens. Environ*, 53, 16-30.
- Kasischke, E.S., Christensen, N.L. Jr., & Haney, E.M., (1994). Modeling of Geometric Properties of Loblolly Pine Tree and Stand Characteristics for Use in Radar Backscatter Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 800-822.
- Sanderson G., (1999), Modélisation du signal radar sur des couverts forestiers, Rapport de stage encadrant Champion I., Ecole d'ingénieur de 2<sup>ème</sup> année MATMECA, 70 p., INRA, Bordeaux.
- Sieber, A.J., (1985). Forest Signatures in Imaging and Non-Imaging Microwave Scatterometer Data. *ESA Journal*, 9, 431-448.
- UMP AMAP : botAnique bioinforMatique de l'Architecture des Plantes, Montpellier. <http://amap.cirad.fr/fr/index.php>
- Woodhouse, I.H., & Hoekman, D.H., (2000). Radar modelling of coniferous forest using a tree growth model. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 1725-1737.