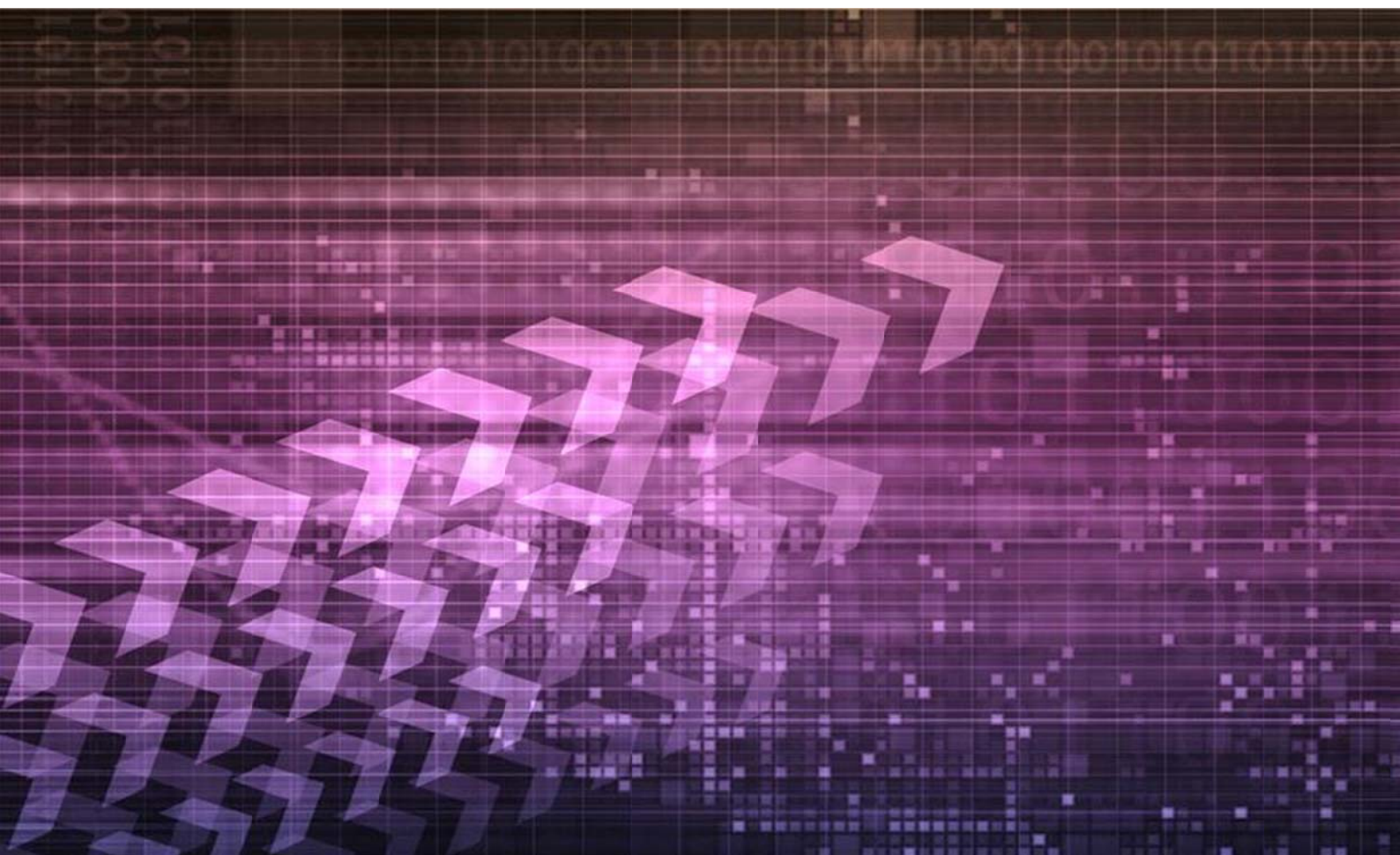


# White Paper

## Applications opérationnelles des mathématiques du flou



Auteur : Prof. Zyed ZALILA  
zyed.zalila@intellitech.fr

Première publication : 10/2009  
Révision : v1.8 – 08/2018

## Avertissement

L'intégralité du présent document est protégée par les droits d'auteur. Les droits de reproduction sont réservés.

Toute citation de quelque partie du document devra obligatoirement comporter la référence suivante :

**Zalila, Z.** (2009-2018) *Applications opérationnelles des mathématiques du flou*, White Paper, v1.8, **intellitech**, Compiègne, France, août 2018, 10 p.

## sommaire

1.	<b>AUTOMOBILE</b>	<b>4</b>
2.	<b>AÉROSPATIAL</b>	<b>4</b>
3.	<b>FERROVIAIRE</b>	<b>6</b>
4.	<b>MARITIME</b>	<b>6</b>
5.	<b>INFORMATIQUE / JEUX VIDÉO</b>	<b>6</b>
6.	<b>ÉLECTROMÉNAGER</b>	<b>6</b>
7.	<b>DOMOTIQUE / BÂTIMENT</b>	<b>7</b>
8.	<b>AUDIO / PHOTO / VIDÉO</b>	<b>7</b>
9.	<b>SANTÉ</b>	<b>7</b>
10.	<b>ROBOTIQUE</b>	<b>8</b>
11.	<b>INDUSTRIE</b>	<b>8</b>
12.	<b>MARKETING</b>	<b>9</b>
13.	<b>GESTION / CRM</b>	<b>9</b>
14.	<b>ÉCONOMIE / FINANCE</b>	<b>9</b>
15.	<b>DÉFENSE / SÉCURITÉ / MALVEILLANCE</b>	<b>10</b>
16.	<b>GÉOMATIQUE</b>	<b>10</b>
17.	<b>STRUCTURE</b>	<b>10</b>
18.	<b>ENVIRONNEMENT / SCIENCES DE LA NATURE</b>	<b>10</b>
19.	<b>RECHERCHE OPÉRATIONNELLE</b>	<b>11</b>
20.	<b>DIVERS</b>	<b>11</b>

Ce document liste plusieurs exemples d'applications opérationnelles des mathématiques du flou au niveau mondial.

## 1. AUTOMOBILE

- Système antiblocage des roues ABS lors de freinage d'urgence
- Boîte de vitesse automatique adaptative au style de conduite du conducteur et à l'environnement de conduite (pente, descente, virage, situation d'urgence). Invention de Z. Zalila & al commercialisée par Renault
- Aide au freinage d'urgence adaptative au style de freinage du conducteur. Invention de Z. Zalila & al commercialisée par Renault
- Pilotage automatique d'un bus par guidage grâce à un marquage au sol ; Diagnostic de la volonté du conducteur de reprise en main ; Accostage automatique du bus sur quai surélevé : les passagers pénètrent dans le bus de plain-pied comme dans une rame de métro. Invention de Z. Zalila & al commercialisée par Renault Véhicules Industriels, puis par Irisbus : système équipant Las Vegas (USA).
- Régulation de la distance entre deux véhicules et freinage automatique (sur autoroute et dans les embouteillages) : il n'est plus nécessaire d'accélérer ni de freiner. Invention de Z. Zalila.
- Pilotage automatique de la direction d'un véhicule : il n'est plus nécessaire de contrôler le volant. Invention de Z. Zalila & al.
- Stationnement automatique xpark!®. Invention d'intellitech.
- Gestion intelligente du trafic : allumage des feux tricolores en tenant compte des flux de véhicules et de la priorité des voies de circulation.
- Évaluation du risque de conduite automobile (hypovigilance, dangerosité), grâce à xtractis®
- Évaluation de l'appétence de clients pour des matériaux automobiles, grâce à xtractis®
- Évaluation sensorielle experte de matériaux automobiles, grâce à xtractis®

## 2. AÉROSPATIAL

- Diagnostic des fissures dans la voilure d'un avion de chasse
- Accostage automatique de la navette spatiale sur la station internationale
- Détection automatique de types de cultures dans des images satellitaires, grâce à xtractis®
- Détection automatique de types d'objets dans des images satellitaires, grâce à xtractis®
- Contrôle qualité de circuits intégrés pour des satellites, grâce à xtractis®
- Prédiction du niveau sonore sur une voilure, grâce à xtractis®
- Maintenance prédictive de turbines d'avion, grâce à xtractis®
- Pilotage automatique d'un avion de chasse (sur simulateur), développé par l'University of Cincinnati et sa spin-off Psybernetix, avec le soutien de l'US Air Force Research Laboratory



### 3. FERROVIAIRE

- Diagnostic des fissures dans la structure composite du futur TGV et TER par analyse acoustique, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Métro automatique de Sendai (depuis 1987 au Japon) : la conduite est très souple sans aucun à-coup (un bol de lait placé dans la rame ne déborde pas durant tout le trajet) ; économie et précision des arrêts sur les quais.

### 4. MARITIME

- Grue portuaire automatique pour décharger les containers : le système flou contre le dangereux effet de balancier induit par les intempéries (rafales de vent dans les ports)
- Maintenance prédictive de turbines de frégate, grâce à xtractis<sup>®</sup>

### 5. INFORMATIQUE / JEUX VIDÉO

- Réglage automatique de la fréquence d'horloge d'un microprocesseur
- Intelligence des personnages dans un jeu vidéo : le joueur humain interagit avec des personnages virtuels (images de synthèse en 3D) ayant un comportement intelligent. Les scènes de bataille du « Seigneur des Anneaux » ont fait appel à un tel moteur flou d'intelligence artificielle pour régir le comportement des centaines de milliers d'acteurs virtuels (Orques,...).
- Intelligence des personnages dans les simulateurs de combat utilisés par les armées (Serious Games)
- Joueur virtuel de poker
- Reconnaissance automatique de caractères manuscrits pour les PDA
- Détection de défauts dans un logiciel critique, grâce à xtractis<sup>®</sup>

### 6. ÉLECTROMÉNAGER

- La plupart des machines à laver aux réglages automatisés (quantité de poudre, quantité d'eau, vitesse et mouvement du tambour, fréquence de brassage, température et durée de lavage, durée de rinçage, durée d'essorage) ayant au moins la note A+ en économie d'énergie : le système flou détermine les réglages optimaux en fonction des évaluations, réalisées par ses capteurs, de la masse du linge, de son degré de salissure, de la dureté de l'eau, de la fragilité des vêtements à laver...
- La plupart des sèche-linge aux réglages automatisés ayant au moins la note A+ en économie d'énergie
- La plupart des lave-vaisselles aux réglages automatisés (quantité de produit nettoyant et de sels de rinçage, durée de lavage) ayant au moins la note A+ en économie d'énergie : le système flou détermine les réglages optimaux en fonction des évaluations, réalisées par ses capteurs, du taux de calcaire de l'eau et du degré de salissure de la vaisselle.

- Four à micro-onde aux réglages automatisés (temps de fonctionnement, niveau de puissance) en fonction de la température et de la masse des aliments, de l'hygrométrie de l'air dans l'appareil...
- Cuiseur de riz aux réglages automatisés
- Hotte aspirante aux réglages automatisés : détermine seule la vitesse de rotation optimale de son moteur et la durée d'aspiration en fonction du taux d'humidité de l'air aspiré et de la température ambiante ; d'où moins de bruit et une économie d'énergie.
- Aspirateur autonome (éviter d'obstacles, retour à la borne de recharge) réglant la puissance d'aspiration en fonction de la nature du sol (moquette, sol dur, parquet) et du degré de saleté

## 7. DOMOTIQUE / BÂTIMENT

- Régulateur de température des tatamis
- Régulation de l'air conditionné (chaud/froid) dans les bâtiments : économie d'énergie et meilleur confort thermique
- Contrôle de l'air conditionné dans les tunnels
- Détecteur intelligent d'incendie pour éviter les fausses alarmes
- Régulation automatique de la température d'une douche/ d'un bain
- Analyse de la qualité de l'eau

## 8. AUDIO / PHOTO / VIDÉO

- Stabilisateur d'image dans les caméscopes, dans les caméras de smartphones
- Réglage automatique des appareils photographiques
- Qualité d'images imprimées en couleur
- Logiciel de reconnaissance de musiques diffusées à la radio, pour aider au recouvrement de droits d'auteur
- Détection d'objets dans des images/vidéos, grâce à xtractis®

## 9. SANTÉ

- La plupart des auto-tensiomètres
- Respirateur artificiel à contrôle adaptatif de la pression pour apnéiques du sommeil
- Dosage automatique d'insuline pour diabétiques
- Dosage automatique d'anesthésiant durant une intervention chirurgicale
- Diagnostic de l'état de santé d'un individu : intégré dans les WC, le système analyse l'urine et les excréments.
- Diagnostic du cancer de la thyroïde (scanner par ultrasons)
- Diagnostic précoce de maladies gériatriques
- Diagnostic du cancer du sein à partir de l'analyse d'images de cellules mammaires (anatomo-pathologiste virtuel), grâce à xtractis®

- Diagnostic précoce du cancer du côlon à partir de l'analyse des intensités d'expressions de gènes, grâce à xtractis®
- Diagnostic précoce du cancer des ovaires à partir de l'analyse spectrale du sérum ovarien, grâce à xtractis®
- Diagnostic précoce du cancer de la prostate à partir de l'analyse des intensités d'expressions de gènes, grâce à xtractis®
- Diagnostic de l'évolution de la maladie de Parkinson à partir de l'analyse de la voix, grâce à xtractis®
- Diagnostic de la réceptivité à la chimiothérapie, grâce à xtractis® : prédiction de la survie longue de patients atteints d'un cancer pulmonaire métastasé ; estimation de leur durée de vie
- Homologie de séquences protéiques, grâce à xtractis®. Application à la détection de virus mutants
- Diagnostic précoce des dysfonctionnements cardiovasculaires de spationautes en mission longue durée (tolérance orthostatique), grâce à xtractis®
- Prédiction de l'installation en médecine générale après les stages d'internat, grâce à xtractis®
- *Drug Discovery*, grâce à xtractis® :
  - Évaluation du risque de toxicité d'une molécule,
  - Prédiction de l'efficacité thérapeutique d'une molécule / d'une formulation dans le traitement d'une pathologie
  - Découverte des profils moléculaires optimaux / des formulations optimales

## 10. ROBOTIQUE

- Les systèmes d'évitement d'obstacles et de guidage des robots autonomes ayant exploré le sol martien depuis 1997
- Le chien robot Aibo de Sony : s'adapte au comportement de ses maîtres et finit par développer son propre comportement
- Drone d'hélicoptère avec applications civiles (surveillance de foule, de chantiers, de forêts, d'ouvrages d'art...) ou militaires (surveillance des unités ennemies, des frontières ; transport de troupes, de blessés).
- Reconnaissance automatique de mines sous-marines, grâce à xtractis®
- Diagnostic des échecs de mission d'un robot, grâce à xtractis®

## 11. INDUSTRIE

- Pilotage automatique des fours de cuisson du ciment (depuis 1979) : contrôle de la quantité de charbon, de la vitesse de rotation du four, de la quantité d'air introduite, de la quantité de ciment introduite.
- Pilotage automatique de laminoirs d'acier
- Contrôle de l'homogénéité de l'acier lors des procédés de moulage
- Supervision d'une centrale nucléaire



- Commande d'une centrale électrique
- Contrôle qualité d'un combustible, grâce à xtractis°
- Contrôle de la température et de l'humidité dans des pièces aseptisées
- Injection de substances solidificatrices dans une station d'épuration
- Contrôle de combustion des déchets
- Contrôle automatique de la qualité de peinture sur carrosserie. Invention de Z. Zalila exploitée par Renault
- Mélangeur / détecteur de couleurs : reconnaît les nuances telles que « un peu plus sombre », « rougeâtre »...
- Classification de défauts dans des tubes / plaques en acier, grâce à xtractis°
- Détection des endommagements dans un matériau, grâce à xtractis°
- Prédiction de la pression de rupture d'un tube en acier et composite, grâce à xtractis°
- Analyse du risque de rupture de canalisation souterraine, grâce à xtractis°
- Prédiction des propriétés de matériaux et de formulations, grâce à xtractis°
- Découverte de formulations optimales ou du cahier des charges optimal d'un produit (agro-alimentaire, produits d'hygiène, optique, sports & loisirs, automobile, cosmétique...), grâce à xtractis°
- Prédiction de l'apparition de défauts dans des pièces moulées, grâce à xtractis°

## 12. MARKETING

- Prédiction de l'évaluation sensorielle d'experts et de l'appétence / la préférence des consommateurs pour des produits, grâce à xtractis°. Exploitée par de nombreuses sociétés : fromage, tomates, pet-food, soda, boisson énergétique, cake, vin, chocolat, chewing-gum, verres optiques, cosmétiques, biscottes, pâte à pain, matériaux intérieurs d'un véhicule, acoustique intérieure d'un véhicule, papier d'hygiène, produits de sports, produits de loisirs, jeux vidéos...)
- Prédiction de l'appétence de clients pour des produits financiers, grâce à xtractis°
- Optimisation d'un marketing-mix, grâce à xtractis°
- Détection des émotions d'un consommateur/télespectateur, grâce à xtractis°

## 13. GESTION / CRM

- Évaluation du risque d'insolvabilité client (impayés), d'attrition (annulation, retour, arrêt d'abonnement), grâce à xtractis°
- Préviation des ventes, du nombre de clients, grâce à xtractis°
- Efficience de promotions commerciales, grâce à xtractis°

## 14. ÉCONOMIE / FINANCE

- Achat/vente d'actions et de crypto actifs (coin, token), grâce à xtractis°

- Allocation d'actifs, choix de stratégie d'investissements, gestion de patrimoine, grâce à xtractis°
- Évaluation d'actifs immobiliers (juste prix d'une transaction), grâce à xtractis°
- Prédiction du prix immobilier dans une zone géographique, grâce à xtractis°
- Évaluation du risque financier d'investissement, grâce à xtractis°
- Scoring du risque de défaut de remboursement d'un crédit à la consommation ou d'un crédit immobilier, grâce à xtractis°
- Évaluation de la pérennité / la faillite d'une société, grâce à xtractis°

## 15. DÉFENSE / SÉCURITÉ / MALVEILLANCE

- Implantation optimale de sites militaires, grâce à xtractis°
- Prédiction du taux de criminalité violente dans une ville, grâce à xtractis°
- Détection de cyberattaques sur un réseau informatique militaire, grâce à xtractis°
- Détection automatique de types d'objets dans des images satellitaires, grâce à xtractis°
- Détection d'actions frauduleuses (impôts, assurance, caisses d'allocations sociales, moyens de paiement, blanchiment d'argent), grâce à xtractis°

## 16. GÉOMATIQUE

- Implantation optimale de sites hospitaliers, de zones de chalandise, grâce à xtractis°
- Prédiction de la densité urbaine, grâce à xtractis°
- Implantation optimale d'éoliennes
- Implantation optimale de sites de vélos en libre-service

## 17. STRUCTURE

- Optimisation des paramètres d'une structure modélisée par éléments finis, grâce à xtractis°. Application à un gratte-ciel, un pont.
- Maillage optimal d'une carrosserie automobile
- Sélection de la courbure d'un pont pour le choix des pylônes
- Diagnostic des fissures dans le béton

## 18. ENVIRONNEMENT / SCIENCES DE LA NATURE

- Prédiction du taux d'ozone dans l'air en fonction des conditions météo, grâce à xtractis°
- Modélisation de l'intensité d'un laser dans un état chaotique, grâce à xtractis°
- Détection d'électrons libres dans la ionosphère, grâce à xtractis°
- Détection automatique de types de cultures dans des images satellitaires, grâce à xtractis°
- Prédiction de récoltes

- Gestion des forêts et de parcs naturels
- Modélisation de la croissance de plantes
- Modélisation de la sédimentation au fond des océans
- Prévision de séismes et de leurs importances
- Prédiction d'avalanches, de crues, de glissements de terrain
- Analyse sismique, prédiction de porosité, détection d'huile / de gaz, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction de la biodégradabilité d'une molécule chimique, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Évaluation du risque d'écotoxicité d'une molécule, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction de l'efficacité d'une molécule dans l'éradication de germes, grâce à xtractis<sup>®</sup>

## 19. RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

- Optimisation de la répartition des ascenseurs dans les gratte-ciels
- Établissement des horaires pour autobus
- Optimisation sous contrainte flexibles, grâce à xtractis<sup>®</sup>

## 20. DIVERS

- Prédiction du niveau de bien-être d'une ville, d'un pays
- Caractérisation de trajectoires exploratoires de non-voyants pour découvrir leur environnement, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction du volume horaire d'apprentissage nécessaire à la réalisation d'une tâche, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction de la fréquence de contribution à Wikipédia, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Audit et reconception d'anciens modèles difficilement maintenables, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Clonage de modèles « boîte noire » (réseaux de neurones, forêts aléatoires, *boosted trees*...) en des systèmes à base de règles explicables et robustes, grâce à xtractis<sup>®</sup>