

# White Paper

## Applications opérationnelles des mathématiques du flou



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

Première publication : 10/2009  
Révision : v2.2 – 09/2021

## Avertissement

L'intégralité du présent document est protégée par les droits d'auteur. Tous les droits, notamment de reproduction et de diffusion, sont réservés.

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

**Zalila, Z.** (2009-2021) *Applications opérationnelles des mathématiques du flou*, White Paper, v2.2, **intellitech**, Compiègne, France, septembre 2021, 11 p.

## sommaire

1.	<b>AUTOMOBILE</b>	<b>4</b>
2.	<b>AÉROSPATIAL</b>	<b>4</b>
3.	<b>FERROVIAIRE</b>	<b>5</b>
4.	<b>MARITIME</b>	<b>5</b>
5.	<b>INFORMATIQUE / JEUX VIDÉO</b>	<b>5</b>
6.	<b>ÉLECTROMÉNAGER</b>	<b>5</b>
7.	<b>DOMOTIQUE / BÂTIMENT</b>	<b>6</b>
8.	<b>AUDIO / PHOTO / VIDÉO</b>	<b>6</b>
9.	<b>SANTÉ</b>	<b>6</b>
10.	<b>ROBOTIQUE</b>	<b>7</b>
11.	<b>INDUSTRIE</b>	<b>8</b>
12.	<b>MARKETING</b>	<b>8</b>
13.	<b>GESTION / CRM</b>	<b>9</b>
14.	<b>ÉCONOMIE / FINANCE</b>	<b>9</b>
15.	<b>DÉFENSE / SÉCURITÉ / MALVEILLANCE / CYBERSÉCURITÉ</b>	<b>9</b>
16.	<b>GÉOMATIQUE</b>	<b>9</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>10</b>
20.	<b>DIVERS</b>	<b>11</b>

Ce document liste plusieurs exemples d'applications opérationnelles des mathématiques du flou au niveau mondial. Certaines ont été réalisées grâce à l'IA de Confiance xtractis®.

## 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.
- Régulation de la vitesse d'un véhicule et de la distance de sécurité avec le véhicule avant avec 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!® opérationnel dans les situations routières les plus contraignantes. Invention de Z. Zalila et **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®
- Pilotage automatique latéral et longitudinal d'un véhicule sur circuit fermé, grâce à xtractis®
- Prédiction de la consommation sur route ouverte, grâce à xtractis®
- Prédiction d'essais moteur (consommation, émission de polluants...), 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 spatiale internationale
- Détection automatique de types de cultures dans des images satellitaires, grâce à xtractis®
- Détection automatique de classes 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 d'avion, 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

- 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 extrême précision des arrêts sur les quais.
- Diagnostic des fissures dans la structure composite du futur TGV et TER par analyse acoustique, grâce à xtractis°

### 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°
- Prédiction de la congestion de réseaux sécurisés de communication entre unités navales militaires, grâce à xtractis°

### 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 smartphones
- Détection de défauts dans un logiciel critique, grâce à xtractis°

### 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 de son degré de salissure

## 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<sup>®</sup>
- Diagnostic précoce du cancer du sein à partir de l'analyse des intensités d'expressions de gènes, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Diagnostic précoce du cancer du côlon à partir de l'analyse des intensités d'expressions de gènes, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Diagnostic précoce du cancer des ovaires à partir de l'analyse spectrale du sérum ovarien, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Diagnostic du cancer de la prostate à partir de l'analyse des intensités d'expressions de gènes, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Diagnostic de l'évolution de la maladie de Parkinson à partir de l'analyse de la voix, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Diagnostic de la réceptivité à la chimiothérapie, grâce à xtractis<sup>®</sup> : 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<sup>®</sup>. Application à la détection de virus mutants
- Diagnostic précoce des dysfonctionnements cardiovasculaires de spationautes en mission longue durée (tolérance orthostatique), grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction de l'installation en médecine générale après les stages d'internat, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction des complications post-opératoires thoraciques, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- *Drug Discovery*, grâce à xtractis<sup>®</sup> :
  - Évaluation du risque de toxicité d'une molécule / d'une formulation dans le traitement d'une pathologie
  - Prédiction de l'efficacité thérapeutique d'une molécule / d'une formulation dans le traitement d'une pathologie, dans l'éradication de germes
  - 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).
- Diagnostic des échecs de mission d'un robot, grâce à xtractis<sup>®</sup>

## 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
- Contrôle qualité d'un combustible nucléaire, 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°
- Prédiction de l'apparition de défauts dans des pièces en acier moulées, grâce à xtractis°
- Contrôle qualité de soudures, 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°
- Évaluation 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 et d'essuyage, optique, sports & loisirs, automobile, cosmétique...), grâce à xtractis°
- Détection de produits contrefaits, grâce à xtractis°

## 12. MARKETING

- Prédiction de l'évaluation sensorielle d'experts, de l'appétence et la préférence des consommateurs pour des produits, grâce à xtractis° : 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, confort thermique d'un véhicule, papiers d'hygiène et d'essuyage, produits de sports, produits de loisirs, jeux vidéo...
- 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<sup>®</sup>
- Prédiction des ventes, du nombre de clients, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Efficience de promotions commerciales, grâce à xtractis<sup>®</sup>

### 14. ÉCONOMIE / FINANCE

- Achat/vente d'actions, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Allocation d'actifs, choix de stratégie d'investissements, gestion de patrimoine, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Évaluation du juste prix d'un actif immobilier, grâce à xtractis<sup>®</sup> : il s'agit de prédire le prix de la négociation immobilière en tenant compte des spécificités de l'acheteur, du vendeur, du bien immobilier et de la situation macro et micro-économique.
- Prédiction du prix immobilier dans une zone géographique, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Évaluation du risque financier d'investissement, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Scoring du risque de défaut de remboursement d'un crédit à la consommation ou d'un crédit immobilier, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Évaluation de la pérennité / la faillite d'une société, grâce à xtractis<sup>®</sup>

### 15. DÉFENSE / SÉCURITÉ / MALVEILLANCE / CYBERSÉCURITÉ

- Implantation optimale de ressources militaires pour défendre un site stratégique, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Reconnaissance automatique de mines sous-marines, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction du taux de criminalité violente dans une ville, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Identification de types de cyberattaques sur un réseau informatique, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Identification de types d'objets dans des images satellitaires, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Détection d'actions frauduleuses (impôts, assurance, allocations sociales, moyens de paiement, blanchiment d'argent), grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Identification temporelle de comportements atypiques, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Identification temporelle d'aéronefs par analyse de trajectoires, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Identification temporelle de profils dangereux et des phases d'action par analyse de métadonnées, grâce à xtractis<sup>®</sup>

### 16. GÉOMATIQUE

- Implantation optimale de sites hospitaliers, de zones de chalandise, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Prédiction de la densité urbaine, grâce à xtractis<sup>®</sup>
- Implantation optimale d'éoliennes
- Implantation optimale de sites de vélos en libre-service

- Implantation optimale de lignes et d'arrêts de transports en commun (tramway, bus, métro)

## 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 météorologiques, 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, d'ouragans
- Analyse sismique, prédiction de porosité, détection d'huile / de gaz, grâce à xtractis®
- Prédiction de la biodégradabilité d'une molécule chimique, grâce à xtractis®
- Prédiction du risque d'écotoxicité d'une molécule chimique sur différentes espèces animales, grâce à xtractis®

## 19. RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

- Optimisation de la répartition des ascenseurs dans les gratte-ciels
- Établissement des horaires pour autobus
- Optimisation non-linéaire multi-objectifs sous contrainte flexibles, grâce à xtractis®
- Optimisation de la rentabilité d'un groupe d'usines de production, grâce à xtractis® : il s'agit de maximiser le profit global en répartissant la fabrication de différents produits sur différents sites de production et de stockage et en les acheminant vers différentes villes, selon différents moyens de transports.

## 20. DIVERS

- Prédiction du niveau de bien-être d'une ville, d'un pays, d'une entreprise, d'une université (économie du bien-être).
- 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>
- Rétro-ingénierie de modèles boîte-noire en des modèles boîte-blanche, grâce à xtractis<sup>®</sup> :
  - Audit et Reconception/Maintenance d'anciens modèles devenus difficilement maintenables (consécutivement au départ / décès des experts métier)
  - Déchiffrement du comportement caché de modèles boîte-noire (réseaux de neurones, forêts aléatoires, KSVM, *boosted trees*...) en des systèmes robustes et intelligibles à base de règles SI...ALORS à logiques continues
  - Déchiffrement du comportement caché de systèmes ennemis/concurrents en des systèmes robustes et intelligibles à base de règles SI...ALORS à logiques continues
  - Détection de biais discriminatoires de systèmes boîte-noire, par analyse des règles SI...ALORS induites par xtractis<sup>®</sup>
  - Audit et Certification de modèles boîte-noire.
- Détection de bruit ou de biais dans les données de référence, grâce à un modèle robuste xtractis<sup>®</sup>
- Amélioration et Augmentation de la connaissance métier, grâce aux règles SI...ALORS induites par xtractis<sup>®</sup> explicitant le processus/phénomène complexe étudié