

# Aide par la Simulation à la Protection d'Infrastructure Critique (ASPIC)

Laurens DUDRAGNE<sup>1</sup>, Benjamin TRUCHOT<sup>2</sup>, Jean-Claude BOURHIS<sup>3</sup>, David ANTHOINE<sup>4</sup>, Pierre COUSIN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>THALES SECURITY SYSTEMS, Activité NRBC, 20 rue de la Grange Dame Rose, 78141 Vélizy-Villacoublay Cedex

<sup>2</sup>INERIS, DRA - Unité Incendie Ventilation, Parc Technologique ALATA, BP2, 60550 Verneuil en Halatte

<sup>3</sup>BULL, rue Jean Jaurès, BP 68, 78340 Les Clayes Sous Bois

<sup>4</sup>BERTIN TECHNOLOGIES, Pôle d'Activités - 155, rue Louis Armand - BP 22000, F-13791 Aix-en-Provence Cedex 3

<sup>5</sup>THALES SERVICES, 1 rue du Général de Gaulle, Z.I. Les Beaux Soleils – Osny, BP 226, 95523 Cergy-Pontoise Cedex

[laurens.dudragne@thalesgroup.com](mailto:laurens.dudragne@thalesgroup.com), [benjamin.truchot@ineris.fr](mailto:benjamin.truchot@ineris.fr), [jean-claude.bourhis@bull.net](mailto:jean-claude.bourhis@bull.net), [anthoine@bertin.fr](mailto:anthoine@bertin.fr),  
[pierre.cousin@thalesgroup.com](mailto:pierre.cousin@thalesgroup.com)

**Résumé** – L'objectif du projet ASPIC est le développement du démonstrateur d'un outil d'aide au positionnement et au déploiement de capteurs afin d'optimiser la surveillance et la protection des infrastructures critiques (aéroports, gares ferroviaires, métro...). Cet outil permettra de modéliser un site et son environnement en 3D, de positionner des capteurs dans cet environnement virtuel et de visualiser de manière interactive leur enveloppe de couverture. La simulation de menaces de type incendie ou dispersion d'agents biologiques et chimiques ainsi que l'implémentation d'un module de comportement de foule en situation de crise permettront de vérifier l'efficacité du système à déployer.

**Abstract** – The goal of the ASPIC project is to develop the demonstrator of a help tool for the positioning and deployment of sensors in order to optimize the protection and the monitoring of critical infrastructure (airport, railway station, subway). This tool will allow to design a site in 3D, to position several sensors in this virtual environment and to check their threat coverage. The simulation of fire or of biological and chemical agents dispersals as well as the implementation of a crowd behaviour module in crisis situation will allow to verify the efficiency of the system to be deployed.

## 1. Contexte et motivation

La protection des infrastructures critiques contre la menace terroriste devient une préoccupation croissante. La mise en place des capteurs ou des moyens de protection est généralement effectuée de manière non optimale et on constate à posteriori que certaines zones que l'on pensait surveillées sont en réalité mal couvertes voire pas couvertes du tout par le capteur qui y a été placé. De telles failles de sécurité peuvent réduire à néant l'efficacité de système, la protection globale du site étant égale à celle de son maillon le plus faible.

L'objectif du projet ASPIC est de développer le démonstrateur d'un outil d'aide au positionnement et au déploiement de capteurs pour optimiser la surveillance et la protection des infrastructures critiques (ex: aéroports, gares, stations de métro, sites sensibles...).

Le système permettra de modéliser un site et son environnement en 3D, de positionner les capteurs dans cet environnement virtuel et de visualiser de manière interactive leur enveloppe de couverture. La simulation de

menaces ou d'incident permettra de vérifier l'efficacité du futur système à déployer.

Un tel outil permettra au responsable de la sécurité d'un site de concevoir et d'optimiser virtuellement la protection du site contre diverses menaces et de définir ainsi le système de sécurité le plus performant en terme de protection mais également en terme de coût.

Il permettra également d'effectuer des audits de sécurité sur des sites existants, de simuler des menaces nouvelles, de mettre en évidence les vulnérabilités résiduelles et de proposer des améliorations afin de renforcer la protection du site.

La simulation s'effectuera en plusieurs étapes :

- Modélisation du site et de son environnement. La description du site est effectuée à partir de différents éléments tels que des plans vectoriels du site, des images ou des photos ;
- Introduction et positionnement des capteurs sur la représentation 3D du site ;
- Visualisation de l'enveloppe de couverture des capteurs qui a été calculée par le système en fonction

de l'environnement du capteur (masquage, portée, sensibilité, brouillage...);

- Introduction des paramètres d'une menace (intrusion, incendie, propagation d'un gaz toxique...);
- Visualisation des vulnérabilités;
- Introduction des éléments de comportement humain ou de comportement de la foule.

## 2. Introduction

Historiquement, la plupart des attaques terroristes sur des cibles civiles ont été perpétrées par le biais d'armes à feu ou d'explosifs. C'est pourquoi dans la plupart des infrastructures sensibles la stratégie de défense vise à mettre en œuvre des moyens de prévention face à ces menaces par le biais de portique de détection d'objet métallique et le scan des bagages par rayon X.

L'évolution actuelle du contexte international conduit à des risques accrus dans le domaine de la menace classique mais également dans le domaine nucléaire, radiologique, biologique ou chimique.

Un examen de l'histoire internationale récente conduit, en effet, à admettre aujourd'hui l'éventualité d'une attaque terroriste mettant en œuvre des agents NRBC et visant des populations civiles. La perspective du terrorisme de grande ampleur a longtemps laissé sceptique nos sociétés, cependant, l'utilisation de gaz Sarin dans le métro de Tokyo en 1995, la dissémination de lettre contenant des spores d'Anthrax aux EU en 2001, la découverte de toxine de ricin dans un bureau du sénat à Washington en 2004 ou tout récemment en août 2006 à Londres la tentative déjouée d'attentats chimiques ont levé le tabou du terrorisme chimique et biologique.

Les possibles attaques impliquant des agents chimiques ou biologiques sont très préoccupantes, non seulement de par leur potentiel de destruction massive mais aussi du fait qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de réelle stratégie ou réponse technologique permettant de faire face à ces menaces.

Aujourd'hui, en Europe et aux Etats-Unis on réévalue, depuis quelques années, les moyens en place pour prévenir et contrer de telles menaces, particulièrement dans les endroits qui présentent une forte concentration de personnes, et il apparaît que les infrastructures aéroportuaires représentent une cible privilégiée.

En effet, la forte concentration de personnes en perpétuelle allée et venue fait d'une aéro-gare un lieu où les terroristes peuvent agir dans un complet anonymat. De plus, le fait que tout ou partie des voyageurs transportent des bagages rend d'autant plus difficile la détection des menaces. La dispersion rapide des passagers des terminaux aériens vers des destinations dans le monde entier présente également un fort risque de dissémination d'agents infectieux à grande échelle sur un temps réduit. L'épidémie de SRAS en 2003 en est une illustration.

Lors de l'exécution de ce projet nous avons choisi de simuler une aéro-gare d'un aéroport international. Pour ce

faire nous avons collaboré avec l'Aéroport de Nice Côte d'Azur (ANCA).

Cette collaboration nous a permis, d'obtenir des éléments permettant une modélisation réaliste de l'infrastructure (Plan 2D, photos, ...), de décrire les contraintes d'exploitation du site et de déterminer les menaces potentielles à prendre en compte.

Nous sommes aujourd'hui en cours de réalisation du démonstrateur sur le cas concret du terminal 2.1.

## 3. Analyse des besoins

A travers la mise en œuvre d'un système de surveillance, les responsables de la sécurité des aéroports cherchent à garantir :

- La sécurité des individus (passagers, personnel d'intervention, ...);
- La permanence du service aéroportuaire.

Le système de surveillance ne doit pas négliger les menaces susceptibles de perturber de façon durable le fonctionnement d'une aéro-gare, même si leur impact en matière de nombre de victimes est a priori faible.

La surveillance d'un aéroport doit prendre en compte trois contraintes essentielles :

- La nécessité d'avoir un système fiable, répondant au principe de précaution et justifiant l'investissement;
- La nécessité d'avoir un taux de fausse alarme très faible, ne ralentissant pas inutilement le flux des passagers;
- La nécessité de détecter un grand nombre de menaces.

Les représentants de l'ANCA marquent un intérêt pour les menaces incendie et risques NRBC qui cadrent bien avec les problématiques qu'ils souhaiteraient voir traiter.

## 4. Modélisation géométrique du site critique

### 4.1 Description du Terminal 2.1

Afin de développer une stratégie de protection d'infrastructures critiques de type aéro-gare face à des menaces NRBC, il est important d'étudier les caractéristiques physiques des différents espaces, les points d'entrées et de sorties, les schémas d'occupation ainsi que les flux de voyageurs au sein de ces espaces.

D'une façon générale les aéro-gares sont de grands espaces avec une configuration relativement figée comprenant :

- Les halls d'attente;
- Les halls d'enregistrement;
- Les points de contrôles;
- Les aires d'embarquement;
- Les aires de livraison des bagages;
- Les espaces commerciaux.

Ces espaces sont ventilés et climatisés de manière à assurer un confort et une qualité de l'air aux personnels et voyageurs. Il est donc primordial d'étudier et de modéliser les flux d'air associés à ces différentes pièces.

Le terminal 2.1 est divisé en 4 zones principales :

- Niveau 2 (sécurisé) : Galerie technique
- Niveau 1 (public) :
  - o Hall d'enregistrement
  - o Commerces et restaurants
- Niveau 1 (sécurisé) :
  - o Hall d'embarquement
  - o Jetées d'embarquement des passagers
- Niveau 0 (public) :
  - o Hall d'arrivée
  - o Récupération des bagages
- Niveau 0 (sécurisé) : Plateforme de tri bagages
- Niveau -1 (public) : Accès pour les sociétés de services (restauration, livreurs et autres)



Photo 1 : Niveau 2, zone technique



Photo 2 : Niveau 1, hall d'enregistrement



Photo 3 : Niveau 0, hall d'arrivée

## 4.2 Principe de la modélisation

Les données binaires de l'ANCA représentant le terminal 2.1 sont composées principalement de fichiers AutoCAD 2D de chaque étage et de photos au format JPEG. Sont également disponible pour la modélisation les données relatives à :

- Climatisation / ventilation / chauffage ;
- Désenfumage ;
- Plomberie / sanitaire.

La modélisation donnera une représentation simplifiée de l'intérieur du terminal. Cette simplification ne doit pas fortement altérer l'aérodynamique du bâtiment. Ainsi les éléments accolés aux murs ne seront pas modélisés. Par contre, les obstacles en milieu de halls le seront comme, par exemple, les piliers.

La modélisation se présente, en visibilité externe, sous forme d'une représentation 3D polygonale texturée. Une représentation en plan 2D est également fournie pour la simulation de la dispersion chimique ou incendie. (Coupe horizontale)

Les éléments pris en compte dans la modélisation sont les suivants:

- L'enveloppe : murs, plancher, plafond ;
- Les ouvertures : portes et fenêtres. Leur fonctionnement est animé visuellement :
  - o Portes à ouverture automatique
  - o Issues de secours
  - o Ouvertures pour la ventilation forcée
- Les piliers centraux ;
- Les cloisons et portiques ;
- Les rangées de sièges ;
- Une partie du mobilier qui s'avère nécessaire pour la pertinence de la représentation ;
- Les tapis à bagages.

Le schéma ci-dessous présente les principes de fonctionnement de l'architecture dans le cadre de l'étude ASPIC. Son objectif est d'adresser et de démontrer les points techniques de deux thèmes de l'étude :

- La modélisation, qu'il s'agisse de restitution réaliste d'un site critique ou de l'enveloppe de couverture de capteurs ;
- La simulation, avec le support de composantes géométriques, graphiques et physiques qui permettent, de supporter les comportements de personnages et de foules, ou le degré de couverture et de réponse d'un système de surveillance.

L'architecture proposée fonctionne en pleine interopérabilité avec les composantes de visualisation et d'animation, et produit des données compatibles avec le système de visualisation.

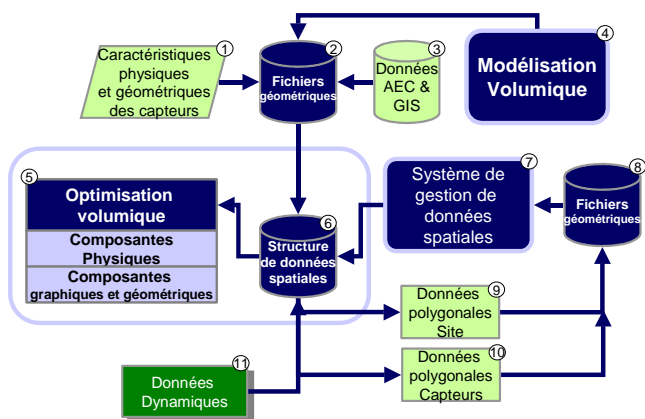


FIG. 1 : Modélisation géométrique - site et capteurs

L'architecture comprend trois niveaux de fonctionnalités.

Un premier niveau permet de produire une modélisation volumique à partir de plusieurs sources de données :

- Les caractéristiques physiques et géométriques par typologie de capteur (1) ;
- Les données de type AEC et GIS (3), qui peuvent provenir de sources hétérogènes (Environnements CAD, formats GIS standards aux formats ESRI, etc.) ;
- Une modélisation volumique native, permettant de fournir des formats extrêmement compacts, volumiques, et en géométrie exacte (4).

Ces fichiers permettent d'alimenter des fichiers centrés sur l'unification et l'intégration de l'information géométrique (2) nécessaire pour produire les structures de données spatiales (6).

Ces structures de données optimisées sont dédiées à un deuxième niveau de fonctionnalités, concernant la simulation. Intégrant des capacités d'analyse et d'optimisation volumique (5), ce niveau de fonctionnalités propose :

- Des composantes de calcul géométrique et graphique, d'une part, qui permettent de simuler, de restituer et d'analyser des éléments de sécurité tels que la couverture de capteurs et le niveau de réponse d'un système de surveillance ;
- Des composantes de calcul physique, d'autre part, qui supportent l'analyse et la simulation d'éléments de l'infrastructure critique tels que les comportements individuels ou de foule. L'analyse et la simulation se font au travers de fonctions de calcul telles que la détection de collision.

Enfin, un troisième niveau de fonctionnalités permet l'interopérabilité avec le système de visualisation et l'environnement utilisé.

Cette interopérabilité est double, production et consommation :

- L'architecture produit deux types de données compatibles

- o Des données polygonales, qui intègrent la modélisation et les résultats de la simulation, et permettent l'exploitation et le rendu graphique dans le système de visualisation (9, 10).

- o Des données de position ou des résultats de simulation (comportements, etc.) pour les modèles polygonaux déjà pris en charge par le système de visualisation tels que les personnages, par exemple. Ces modèles sont alors modifiés ou impactés dans leur position ou leur configuration avant le rendu graphique (11).

- Lorsque le système de visualisation intègre des mécanismes de détection (exemple collision) ceux-ci sont remontés (11) au système de modélisation géométrique de site critique et de capteurs pour y être exploités.

Dépendamment de leur nature, ces données peuvent être soit consommées directement par la structure, soit, dans le cas de données polygonales (9), (10), être converties en données géométriques pures (8) et optimisées par un module de gestion de données spatiales (7) avant leur intégration dans la structure (6).

## 5. Modélisation des risques et menaces

Dans le cadre d'ASPIC nous nous limiterons à une description des menaces de type incendie et attaque NRBC.

### 5.1 Incendie

Deux configurations différentes sont à considérer :

- Départ de feu accidentel ;
- Incendie volontaire

Dans le premier cas, l'incendie concernera du matériel et des substances présentes dans le lieu considéré. Les causes de départ accidentel de feu dans une infrastructure critique sont nombreuses : dysfonctionnement d'une machine (échauffement du moteur d'un tapis roulant, court-circuit dans une armoire électrique, ...), cigarette, travaux, ...

Dans le cas d'un départ de feu volontaire, outre l'incendie de produits présents, il est envisagé l'apport de produits permettant d'accroître les effets, notamment par inflammation de produits fortement combustibles dégageant des composés fortement toxiques (HCN, HBr, ...).

Les conséquences d'un incendie en milieu confiné comme une Infrastructure Critique, sont de plusieurs types :

- Effets thermiques dus aux flux radiatifs et convectifs (élévation de la température)
- Effets toxiques dus aux composants chimiques présents dans les fumées d'incendie
- Chute d'objet sur les personnes
- Effets sur la visibilité dus à l'opacité des fumées

On notera que des seuils d'effet peuvent être définis pour les trois premiers effets, ce n'est pas le cas pour la perte de visibilité.

### 5.1.1 Conséquences des effets thermiques

Les effets thermiques, indissociables de l'incendie, peuvent, outre les atteintes directes sur les personnes, causer des dommages sur les structures et donc sur les personnes. Ainsi, dans le cas d'un incendie important, la structure peut être endommagée, et ce, même si elle est intègre. Dans un tel cas, un contrôle de l'intégrité de la structure est indispensable avant la réouverture du site affecté.

### 5.1.2 Les effets toxiques

Dans le cas d'un incendie volontaire, les effets toxiques seraient probablement recherchés, leurs conséquences, en milieu confiné pouvant être bien plus significatives que les effets thermiques, ce qui est le cas pour les feux dans les bâtiments d'habitation.

### 5.1.3 Les effets sur la visibilité

Le dernier type d'effet d'un incendie est la perte de visibilité liée à l'opacité des fumées. Cette baisse de visibilité agit directement sur le temps nécessaire à l'évacuation des personnes occupant le bâtiment. En effet, outre le stress que cela provoque, la perte de visibilité est une gêne importante à l'évacuation, et augmente donc par conséquent le temps d'exposition.

## 5.2 Menaces NRBC

### 5.2.1 Menaces Nucléaire et Radiologique

La menace à considérer est plutôt de nature radiologique :

- Source radioactive susceptible d'irradier le personnel et les passagers ;
- Bombe sale, susceptible de contaminer de façon durable les locaux.

On estime à dix millions le nombre des sources de radioactivité présentes sur la planète, dont plusieurs centaines de milliers ont un taux de radioactivité tel qu'elles présentent un risque pour la santé. Parmi les sources radioactives susceptibles d'être utilisées par un groupe terroriste, on trouve le cobalt-60, le césium-137, l'iridium-192, le strontium-90, l'americium-241, le californium-252 et le plutonium-238. Les domaines d'activités où ils sont le plus généralement utilisés sont la radiothérapie en milieu hospitalier (iode-125, cobalt-60, césium-137), les produits radiopharmaceutiques (iode-131, iode-123, technétium-99, thallium-201, xénon-133), les barres de combustible irradié des centrales nucléaires (uranium-235), les universités et les laboratoires. Une matière radiologique est également utilisée dans les détecteurs de fumée (l'americium-241). Les autres matières

radiologiques les plus répandues sont l'iridium-192 et le plutonium-239.

Au plan radiologique la menace principale réside dans l'irradiation ou la contamination par sources radioactives orphelines dans des zones de concentration de population de préférence confinées (grandes manifestations publiques, métro, aéroports, etc...) et dans mise en œuvre d'engins pyroradiologiques dits bombes sales. Pour les victimes le risque consistera en l'inhalation de particules alpha et bêta et l'irradiation au contact des radioéléments émetteurs gamma et X.

En règle générale, les effets d'une attaque radiologique ne sont pas immédiats. Si aucun système de surveillance n'est mis en place, l'attaque risque même de passer inaperçue. Les conséquences sanitaires ne doivent cependant pas être négligées. Dispersés dans certaines conditions, les produits radioactifs ou les matières nucléaires sont susceptibles de contaminer des zones importantes, en particulier en milieu urbain, et d'avoir des conséquences graves en milieu confiné lors d'un rassemblement de foule. Ils peuvent également viser la dégradation de l'environnement, sans porter atteinte aux êtres humains.

Une source radioactive scellée ne perturbera pas la gestion de l'aéroport de façon durable. Les locaux seront utilisables dès le retrait de la source. La dispersion d'un matériau radioactif dans une aérogare imposera par contre une longue et coûteuse décontamination.

### 5.2.2 Menaces Biologique

Même s'il reste encore au stade artisanal le bio-terrorisme est avéré (des recettes de fabrication d'agents; tels que l'anthrax, la ricine et la toxine botulique; ont été trouvées tant à Londres qu'à Paris).

Comme la menace nucléaire, les menaces virales et bactériologiques sont sournoises. Une caractéristique commune des agents biologiques et qu'ils n'ont pas un impact immédiat sur les personnes. Même si leur dissémination peut être très rapide, par le biais des systèmes de ventilation, les symptômes des victimes n'apparaîtront que quelques heures voire quelques jours après l'attaque.

Une attaque biologique passera donc facilement inaperçue si aucun système de surveillance n'est mis en place.

Il faut considérer 2 classes de menaces :

- Les virus et les bactéries ;
- Les toxines.

Parmi ces deux classes d'agents on peut également faire la distinction entre les agents contagieux (variole, peste, fièvres hémorragiques) et les agents non contagieux (anthrax, tularémie, toxines)

Une attaque biologique efficace se fera par dispersion d'un agent dans l'air sous forme d'aérosol. Le taux de contamination du personnel et des passagers sera alors maximum. Une contamination par l'eau de boisson est

envisageable, mais aura un impact sanitaire beaucoup plus réduit. Une contamination par contact est improbable car en l'absence de blessure, la peau constitue une barrière efficace.

La plupart des agents biologiques sont fragiles et ne peuvent contaminer une aérogare de façon durable. Ils peuvent cependant survivre partout où il y a de l'eau. Néanmoins certains agents biologiques, l'anthrax par exemple, ont la capacité de passer de l'état végétatif à l'état de spores extrêmement résistantes. Leur dispersion dans une aérogare imposera donc une fastidieuse décontamination. Contrairement aux particules radioactives, les spores sont difficilement détectables au milieu de la poussière. Cette difficulté impose une décontamination systématique des zones susceptibles d'avoir été contaminées.

### 5.2.3 Menaces Chimique

S'agissant des agents chimiques, on retiendra que le choix des diverses substances toxiques se fera d'abord sur des critères de persistance :

- Les agents fugaces (sarin, acide cyanhydrique et phosgène) visent à atteindre rapidement le maximum de personnes, leur effet est susceptible de durer jusqu'à plusieurs heures, en fonction notamment des conditions atmosphériques ;
- Les produits persistants (ypérite, tabun...), qui se présentent sous forme de liquide ou d'aérosol, permettent de neutraliser un terrain ou une installation. Utilisés en grande quantité leurs effets peuvent se propager autour de la zone d'épandage. Ils contaminent les surfaces jusqu'à un mois après leur épandage ;
- Les agents semi-persistants (parmi lesquels le soman) ont la capacité de désorganiser en empêchant, pendant quelques heures, d'accéder à certains points (gares, zones aéroportuaires, dépôts).

Les agents chimiques de guerre se classent en quatre catégories principales, en fonction de leurs effets sur l'organisme humain :

- Les irritants ou suffocants
- Les toxiques du sang ou hémotoxiques ;
- Les vésicants ;
- Les neurotoxiques.

Une cinquième catégorie « d'armes » chimiques pourrait être définie. Ces produits chimiques, les Toxiques Industriels Chimiques (TICs), qui ne sont pas considérés comme toxiques de guerre, présentent néanmoins des risques importants en cas d'inhalation ou de contact cutané. Ce risque nouveau fait aujourd'hui l'objet d'études sérieuses car la plupart des dispositifs de détection et de protection individuelle et collective sont inefficaces face à ces agents toxiques.

Sont considérés comme Toxiques Industriels Chimiques (TICs), les composés produits à plus de 30 tonnes/an dans une usine chimique et ayant un seuil de toxicité par inhalation  $LC_{T50} < 100 \text{ g.min/m}^3$  ( $LC_{T50}$  : concentration entraînant la mort de 50 % des personnes qui y sont soumises).

Les effets d'une attaque chimique sont généralement immédiats car les doses incapacitantes et létales sont très faibles. Contrairement à une menace nucléaire ou biologique, une menace chimique passe difficilement inaperçue. Mais ce n'est pas toujours le cas. Certains chimiques de guerre n'ont pas un effet immédiat. L'intérêt d'un système de surveillance est alors évident. Il permet la détection précoce de l'agent et la mise en œuvre immédiate de mesures conservatrices nécessaires à la limitation des dégâts :

- Cloisonnement et ventilation de la zone ;
- Mise en place des moyens d'intervention adaptés...

Les gaz peuvent être rapidement évacués. Ils peuvent générer un nombre de victimes important, mais la gestion de l'aéroport ne sera pas perturbée de façon durable.

Comme cité précédemment, certains agents chimiques de guerre liquides ont par contre été conçus pour contaminer de façon durable une zone opérationnelle. Leur utilisation dans un endroit stratégique de l'aéroport bloquera toute activité tant que la zone n'aura pas été décontaminée.

## 5.3 Principe de la modélisation

Pour chaque phénomène considéré il s'agit d'établir un inventaire succinct des modèles disponibles pour une représentation du phénomène en 3D et de les caractériser en termes de précision, de complexité des calculs et des données. Cet inventaire servira à la sélection des modèles les plus pertinents pour une utilisation dans le contexte du simulateur. Dans cette première phase, le projet vise avant tout à démontrer la faisabilité d'un tel simulateur. La précision des modèles et leur capacité à représenter des phénomènes en environnement complexe ne sera donc probablement pas, à ce stade, le critère prépondérant face à la facilité d'utilisation. Ces modèles seront utilisés pour réaliser les modélisations relatives au cas test.

## 6. Modélisation des capteurs

Dans un premier temps, nous avons établi les critères de choix associés à notre besoin. Après un inventaire des technologies existantes, nous avons appliqué ces critères pour nous permettre de retenir le système (ou les systèmes) le(s) plus pertinent(s) à modéliser.

Parmi les critères de choix ont été retenus :

- La maturité technologique : nous nous attacherons aux technologies et équipements de niveaux TRL 8 et 9 ayant déjà fait leurs preuves dans le domaine.
- Le fonctionnement autonome : pour être opérationnel dans notre cadre de figure, il est rédhibitoire que le système nécessite la présence d'opérateurs pour effectuer les analyses où pour des phases de maintenance fréquentes.
- La sécurité : certains systèmes peuvent recourir à des technologies (laser) ou à des produits potentiellement dangereux pour les personnes. On préférera à performances équivalentes, les systèmes ne présentant aucun danger.
- Le temps de réponse : il est essentiel de disposer d'appareils fournissant une réponse rapide. On préférera à performances équivalentes, les systèmes fournissant la réponse dans le temps le plus court possible.  
Néanmoins, des systèmes fournissant une réponse au-delà de 5-10 minutes peuvent avoir leurs utilités notamment en détection d'agents biologiques. En effet, les technologies actuelles d'analyse biologique ne permettent pas d'obtenir une réponse fiable en moins de 30 à 40 minutes (biocollecte, préparation, analyse et résultat). Sachant que la durée moyenne de séjour d'une personne dans une aéro-gare est comprise entre 30 minutes (pour une personne accompagnant un voyageur) et 2 heures (pour un voyageur), on pourra difficilement s'inscrire dans une approche de type "Détection/Réaction " pour amoindrir les effets d'un agent. Néanmoins on pourra grâce à cette surveillance réduire les effets en établissant les listes des personnes potentiellement atteintes et en mettant en œuvre au plus tôt les moyens thérapeutiques appropriés.
- La fiabilité de la réponse : nous abordons ici les notions de faux positif et faux négatifs.  
On préférera à performances équivalentes, dans la mesure où les fournisseurs acceptent de fournir ce type d'information dans l'ordre :
  - o Les systèmes dont la technologie est la moins sensible à ces phénomènes
  - o Les systèmes présentant le plus faible taux de faux positifs et pas de faux négatif
  - o Les systèmes générant des faux positifs plutôt que des faux négatifs
- La sensibilité : on préférera à fonctionnement équivalent (temps et fiabilité de réponse, appareil

autonome) les systèmes donnant une meilleure performance en terme de sensibilité de détection.

- Le coût : en dernier lieu, à système équivalent, on retiendra le système à moindre coût sans oublier que le coût d'achat de l'équipement n'est pas le seul à prendre en considération et que des postes comme la formation, les consommables et la maintenance peuvent alourdir le coût de possession de façon considérable.

### 6.1 Les capteurs sélectionnés

#### 6.1.1 Capteurs chimiques

##### a. Capteurs chimiques distants

TAB. 1 : Capteurs chimiques distants actifs

Techniques	OUI/ NON	Commentaires
Fluorescence induite par Laser (LIF)	NON	Sécurité oculaire
Spectroscopie de plasma induite par Laser (LIBS)	NON	Pas mature + sécurité oculaire
Lidar à rétrodiffusion	NON	Pas d'équipement « courte portée » + sécurité oculaire
Lidar DIAL	NON	Pas d'équipement « courte portée » + sécurité oculaire
Lidar Raman	NON	Pas d'équipement « courte portée » + sécurité oculaire
Spectroscopie par différence d'absorption optique		
Barrière UV	OUI	Dédié pour la détection de H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> et les composés aromatiques
Barrière IR2	OUI	Dédié pour la détection des liaisons C-H
Barrière IR3	NON	Techniquement possible mais pas d'appareil sur le marché. Existe en version laboratoire militaire.
Spectroscopie FTIR active	OUI	

Les techniques ci-dessus donnent en général des réponses quasi instantanées (quelques secondes). D'une manière générale, les techniques utilisant des lasers ne sont pas adaptées à notre besoin. En effet, pour disposer d'un signal suffisant, il est nécessaire de disposer de sources laser puissantes ce qui constitue un véritable problème d'utilisation en présence de personne.

Les appareils reposant sur la technologie FTIR font appel à des détecteurs refroidis dont la maintenance est potentiellement onéreuse.

Les dispositifs disponibles « sur étagère » retenus pour notre application sont les suivants :

- Barrière UV
- Barrière IR II
- Dispositifs FTIR actifs

TAB. 2 : Capteurs chimiques distants passifs

Systemes	OUI/ NON	Commentaires
MIDAC AM passif de Midac Corp	NON	La version « active » est la plus intéressante
RAPID de Bruker	OUI	
FIRST de Telops	NON	La preuve de mesure en temps réel n'est pas faite
Second Sight de Bertin Technologies	OUI	
SPIM de ATIS	NON	Même technologie de détecteur que le Second Sight® de Bertin Technologies. On peut donc penser à une sensibilité comparable.

Les systèmes utilisant la technologie sur base FTIR nécessitent une capacité de traitement conséquente en rapport au calcul de la transformée de fourrier. Les appareils monodétecteur type MIDAC AM permettent le temps réel car ils effectuent ce calcul une seule fois par période.

Le dispositif retenu pour notre application est le Second Sight de Bertin Technologies.

### b. Capteurs chimiques locaux

Les technologies principales utilisées à ce jour pour la détection d'agents chimiques restent encore l'IMS, le SAW et la spectrophotométrie de flamme. Les principes technologiques n'ont pas changé mais les fabricants ont amélioré les précisions et les sensibilités. Il reste encore des imperfections (faux positifs) mais les progrès ont été significatifs au cours de ces dernières années. L'utilisation combinée de ces trois technologies permettrait de disposer d'un système beaucoup plus performant.

La chromatographie en phase gazeuse (GC), combinée à la spectrométrie de masse (MS), est la méthode standard utilisée pour l'identification et la quantification des agents chimiques. Il existe quelques dispositifs portables de GC-MS et leur miniaturisation fait actuellement l'objet de travaux.

Le tableau ci-après résume les choix possibles concernant les techniques envisageables pour notre application :

TAB. 3 : Capteurs chimiques locaux

Techniques	OUI/ NON	Commentaire
Spectroscopie IR	NON	Moins sensible que l'IMS par ex
Spectroscopie photo-acoustique IR (PIRS)	NON	Les SAW sont mieux adaptés
Spectrométrie à mobilité ionique (IMS)	OUI	
Détecteur à ondes acoustiques de surface (SAW)	OUI	
Détecteur à photo-ionisation (PID)	NON	Pas assez sélectif
Spectrophotométrie de flamme	OUI	
Détecteur à oxydation catalytique	NON	Pas assez sensible
Détecteur à semi-conducteurs	NON	Pas assez sensible
Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)	NON	Trop compliqué

Les appareils retenus pour notre application sont :

- Technologie IMS : Centurion de Smith detection
- Technologie Spectrophotométrie de flamme : AP2C ou AP4C de Proengin

### 6.1.2 Capteurs Biologiques

Pour notre application, il est essentiel de disposer d'une réponse rapide avec un système autonome capable de prélever l'échantillon et de l'analyser. En conséquence, le tableau de synthèse suivant donne la justification des choix effectués :

TAB. 4 : Capteurs Biologiques

Techniques	OUI/ NON	commentaire
Biologie moléculaire PCR qPCR ou PCR en temps réel Microarray ou puce à ADN	NON NON NON	Trop long + préparation échantillon Trop long + préparation échantillon Préparation échantillon et/ou pas assez mature
Immunologie Elisa classique	NON	Trop long + préparation échantillon
Lateral flow (bandelettes) Cytométrie de flux Résonance plasmonique de surface	NON NON NON	Préparation échantillon Préparation échantillon Préparation échantillon
Electrochemiluminescence, Fluorescence Guide d'onde optique	NON NON	Préparation échantillon Préparation échantillon
La détection optique Microscopie Fluorescence	NON OUI/NON ?	Préparation échantillon Trop de fausses alarmes potentielles
l'ATPmétrie	NON	Trop long
Culture cellulaire	NON	Trop long
Les techniques hybrides Spectrométrie de masse Spectrométrie de flamme Electrophorèse capillaire Chromatographie en phase gazeuse HPLC	NON OUI NON NON NON	Préparation échantillon Préparation échantillon Préparation échantillon Préparation échantillon
Les biocapteurs	NON	Pas assez mature

En conclusion, la seule technique envisageable pour notre application est la Spectrométrie de flamme. Dans ce domaine, l'appareil le mieux adapté est le Biological Alarm Monitor (MAB) produit par Proengin.

### 6.1.3 Capteurs nucléaires et radiologiques

Le choix se porte ici sur les équipements classiques de type balises qui effectuent un prélèvement de l'air. Pour notre application, il sera nécessaire que le prélèvement soit réalisé là où le flux d'air transporte naturellement les particules, ex les gaines de ventilation.

Il existe plusieurs fournisseurs de balises aérosols, pour notre projet, nous avons retenu la BAB-A4 2000, Balise Aérosol  $\alpha$ ,  $\beta$  de la Société Saphymo.

## 6.2 Modélisation des capteurs

La modélisation des capteurs fait l'objet de l'intégration d'algorithmes de détection au sein d'une représentation 3D de l'enveloppe d'un capteur.

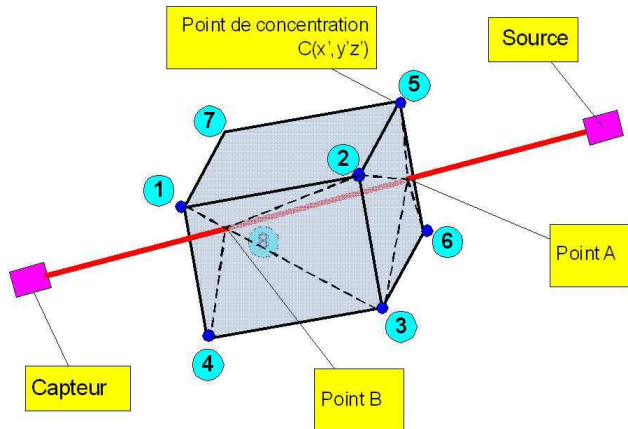


FIG. 2 : Modélisation d'une barrière IR ou UV

$$C_{\text{intégrée}} = \int_A^B C(x) dx \quad \text{avec} \quad C(x) = \frac{\sum_{i=1}^8 C_i \prod_{j=1, j \neq i}^8 d_j(x)}{\sum_{k=1}^8 d_k(x)}$$

## 7. Description générique des comportements

Le système permet de contrôler et d'animer un ensemble de personnages 3D, nommés avatars. Chaque avatar est une instance de personnage 3D animé, qui agit de manière autonome en fonction de règles pré-établies, et de sa perception de l'environnement.

Le système permet une animation de foule représentative du flux de passagers autonomes et voyageant seuls dans un lieu public tel qu'une aéroport, mais n'a pas vocation à reproduire finement les comportements humains dans toute leur complexité ou les interactions avec tous les accessoires de la vie courante.

Chaque avatar est créé à l'extérieur du lieu simulé, y effectue un certain trajet, puis en ressort pour être détruit, et recyclé en un autre avatar pour un autre trajet. Le nombre total d'avatars à un instant donné doit rester inférieur à un maximum configurable.

Le système permet également une simulation des comportements de la foule en cas d'incendie ou d'attaque chimique, ainsi que le contrôle du comportement d'individus isolés faisant des tentatives d'intrusion (toutefois, il ne faut pas espérer d'un système informatique qu'il démontre plus d'astuce, d'inventivité et d'expertise qu'un humain compétent !)

Le système s'articule autour des notions suivantes :

- **Zone** : un lieu ayant une importance particulière pour des avatars : étape d'un trajet, zone interdite, zone de création/destruction...
- **Issue** : une issue de secours, ouvrant un nouveau passage pour la foule en cas d'évacuation.
- **Comportements de base** : des comportements élémentaires pré-établis des avatars, qu'il est ensuite possible de paramétrer et d'assembler pour obtenir des comportements plus complexes.
- **Trajet d'avatar** : un ensemble de zones à visiter par un avatar, soit l'une après l'autre, soit une parmi N.
- **Classe d'avatar** : permet de paramétrer le comportement d'une classe d'avatars (public normal, intrus...) indépendamment du trajet suivi.
- **Script d'avatar** : ensemble de données décrivant le cycle de vie complet des avatars pour une zone de destination : création, cheminement complet dans l'environnement, destruction finale, paramétrage des comportements de base...
- **Scénario d'avatars** : assemblage des concepts précédents contrôlant le comportement de la foule.

## 8. Visualisation et animation du site critique

Les points techniques mis en œuvre sont les suivants :

- Visualisation réaliste 3D du site
- Visualisation des capteurs et de leur enveloppe de détection (couverture géométrique de l'infrastructure)
- Animation et visualisation de personnages et de foules animés de comportements autonomes et d'éventuelles missions telles que : se déplacer aléatoirement sur le site, effectuer un parcours type (attente, enregistrement, attente, embarquement...), etc.
- Animation d'actionneurs en relation avec le système d'évacuation
- Visualisation en réalité augmentée du site critique et des personnages intégrant également les dispositifs de sécurité (détection, évacuation).

Le schéma ci-dessous présente les principes de fonctionnement de l'architecture proposée pour la visualisation et l'animation du site critique.

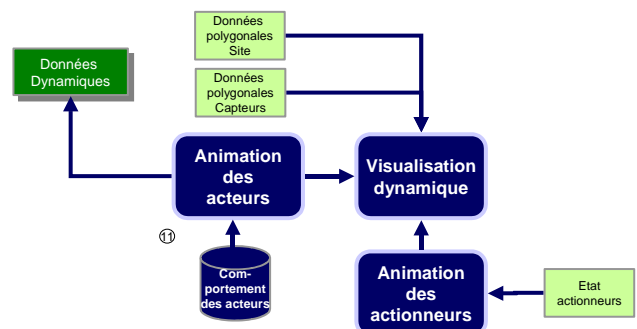


FIG. 3 : Visualisation et animation

L'architecture du système proposé fonctionne en pleine interopérabilité avec les composants de Modélisation géométrique du site critique et des capteurs, et exploite les données fournies par ses derniers.

### 8.1 Visualisation de l'infrastructure

La visualisation de l'infrastructure critique est réalisée à partir de la modélisation 3D. Cette modélisation est fournie à l'outil de visualisation sous un format standard de représentation (Virtools). La modélisation solide « solid modelling » des portes permettront la visualisation réaliste des évacuations de foule et de propagation des gaz (visualisation des zones contaminées) au cours du temps..

### 8.2 Visualisation des capteurs

Les capteurs sont visualisés sous forme d'une enveloppe de volume d'efficacité calculée à partir :

- Des caractéristiques intrinsèques du capteur
- De la position du capteur dans le site critique
- De la description du site critique et des contraintes induites sur l'efficacité du capteur

L'enveloppe géométrique des capteurs est fournie par la modélisation géométrique du site critique.

La détection est effectuée par détermination de l'intersection de l'enveloppe du volume d'efficacité du capteur avec la position des objets à détecter (personnage par exemple). L'enveloppe du volume d'efficacité du capteur peut être visualisée en 3D (visualisation en réalité augmentée).

Les détections des capteurs sont reportées à la simulation du système de sécurité au niveau de la modélisation du site critique. Les capteurs incriminés sont localisés. Les capteurs disponibles, complémentaires à la levée de doute et ceux potentiellement incriminés dans la poursuite du phénomène, sont identifiés. L'état des accès est matérialisé et animé en fonction d'information en provenance de la modélisation géométrique du site critique, permettant d'y associer une simulation comportementale des individus en réaction avec l'animation de ces dispositifs de sécurité.

### 8.3 Visualisation et animation des personnages

Les personnages sont animés en 3D (animation 3D des personnages et mobilité des personnages dans les 3 dimensions), et obéissent à un système comportemental reposant sur des techniques éprouvées ou innovantes d'Intelligence et de Vie Artificielles.

Différents comportements peuvent être modélisés :

- Individus " neutres " dans une foule respectant les contraintes de déplacement du site critique (parois, collisions, interdictions, etc.).
- Individus dans une foule respectant des consignes d'évacuation et prenant en compte les obstacles pouvant se dresser au sein du site critique
- Individus " hostiles " devant s'introduire dans un lieu sécurisé en évitant les capteurs

- Individus en charge de la sécurité du site ayant pour consigne de repérer voire d'appréhender les individus hostiles.
- Individu en charge de la sûreté du site ayant pour mission d'intervenir sur la zone à évacuer.



FIG. 4 : Comportement de fuite suite à une intoxication

### 8.4 Visualisation de scène

La scène représentant le site critique et les personnages animés est visualisée en 3D de manière réaliste.

La visualisation offre également une représentation de la scène en réalité augmentée qui permet de visualiser :

- Le site en filaire (vue globale du site avec les animations)
- Les volumes d'efficacité des différents capteurs en fonction de leur positionnement
- Des informations non visuelles (caractéristiques techniques (ex. matériau), sécuritaires (interdictions, etc.), ...) sur des objets sélectionnés par " picking " dans la vue 3D
- La détection de présence par un changement de couleur du personnage ou de l'objet détecté.

Dans le cadre de capteurs de type caméra (domaine visible) il sera possible de positionner une fenêtre de visualisation représentant la vue perçue au travers la caméra.