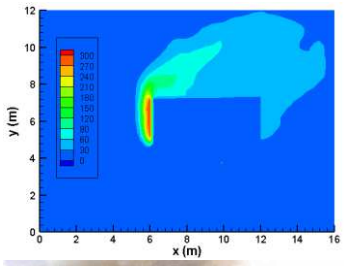
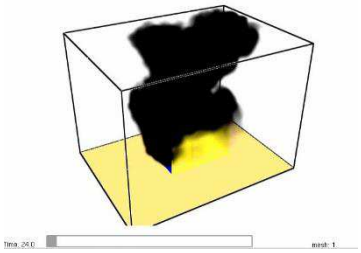
Prise en compte des fumées et gaz de combustion émis lors des brûlages en simulateur de feu.

Conception d'un outil de zonage toxicologique au moyen des détecteurs de la CMIC.





RCH4 - 2016

Référent pédagogique :
Capitaine Philippe SANS, SDIS 31

Rédacteurs :
Capitaine Aurélien DUMAS, SDIS 79
Capitaine Eric TIRELLE, SDIS 76

COLLECTION PROVISOIRE DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES OFFICIERS DE SAPEURS-POMPIERS

Directeur de publication
Col François PRADON, Directeur de l'ENSOSP par interim

Direction des documents pédagogiques de l'ENSOSP
Col François PRADON, Directeur de l'ENSOSP par interim

Auteurs, conception et photographies,
Capitaine Aurélien DUMAS
Capitaine Eric TIRELLE

ENSOSP

RCH 4

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente publication sans autorisation de l'éditeur ou du centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) 3, rue Hautefeuille 75006 Paris.

En effet, la législation sur les droits d'auteur codifiée par la loi n° 92-597 du 1er juillet 1992 relative au code de la propriété intellectuelle, interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit - photographie, photocopie, bande magnétique, disque ou autre, - sans le consentement de l'auteur et de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Les actes publiés dans cet ouvrage ne représente pas une opinion de l'ENSOSP
et n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs

© ENSOSP, 2008
Diffusion et vente de droits

• ISBN • ISSN • DÉPÔT LÉGAL

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES OFFICIERS DE SAPEURS-POMPIERS

REMERCIEMENTS

Monsieur Thomas ROGAUME – Directeur de l'Institut des Risques Assurantiels et Financiés (IRIAF).

Monsieur Jocelyn LUCHE – Enseignant chercheur au laboratoire Pprime à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ISAE-ENSMA).

Monsieur Marc POISSON - Technicien au laboratoire Pprime.

Monsieur Aurélien GILLI– Stagiaire en master 1 à l'IRIAF.

Monsieur Huy-Quang DONG – Modélisateur incendie au laboratoire Pprime.

Monsieur Jean François BRIHLAC – Directeur du laboratoire Gestion des Risques Environnement de Mulhouse.

Monsieur Eric GUILLAUME – Directeur technique d'Effectis ingenierie.

Monsieur Mathieu LECOUTRE – Formateur Groupe d'Etudes de Sécurité des Industries Pétrolières et Chimiques (GESIP)

Monsieur Stéphane MARCOTTE – Responsable unité analyse du laboratoire C2i ORGA, Institut National des Sciences Appliquées de Rouen.

Commandant Laurent MORDRET – Chef de Groupement Formation SDIS de la Sarthe.

Lieutenant Samuel FERNANDEZ – Référent incendie au SDIS des Deux Sèvres.

Infirmier de Sapeurs-Pompiers AUBOUIN du SDIS des Deux Sèvres.

Infirmier de Sapeurs-Pompiers Florian BREE du SDIS de la Seine-Maritime.

Adjudant Laurent GUILLEMELLE – Chef du Plateau Technique de Formation sur Feux Réels au SDIS de la Seine-Maritime.

Madame Juliane ROBERT – Assistante, Groupement Emplois Activités et Compétences, SDIS de la Seine-Maritime.

SOMMAIRE

RESUME **6**

INTRODUCTION **8**

I. LES SIMULATEURS DE FEU UTILISES EN FRANCE **9**

I.1. CAISSON « FLASHOVER » 9
I.2. CAISSON « TECHNIQUES DE LANCES » 9
I.3. PRESENTATION DU TERME SOURCE 9
I.3.1. Palette (traitement MB ou HT, …) *9*
I.3.2. Contreplaqués et panneaux agglomérés *10*
I.3.3. Bois (composition naturelle) *11*
I.3.4. Produits et matériaux de démarrage (mousse polyuréthane, ….) *12*
I.4. ANALYSE DU TERME FLUX 12
I.4.1. Transfert de polluant par les fumées des simulateurs *12*
I.4.2. Transfert de polluants par désorption des Equipements de Protection Individuelle *13*

II. METHODOLOGIE DEVELOPPEE POUR L'ETUDE **13**

II.1. LA DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES GAZ 13
II.1.1. Identification primaire et la démarche avec l'INSA *13*
II.1.2. La démarche avec l'IRIAF *15*
II.1.3. Limites de cette démarche *16*
II.1.4. Bilan de la démarche d'identification *16*
II.2. LA DEMARCHE DE QUANTIFICATION 17
II.2.1. Quantification continue des principaux composés *17*
II.2.2. Quantification ponctuelle des composés minoritaires *18*
II.2.3. Quantification des composés relargués par les tenues de feu *19*
II.2.4. Exposition au monoxyde de carbone *19*
II.2.5. Les expositions aux acides cyanhydrique et chlorhydrique *20*
II.3. LES PRINCIPAUX TOXIQUES IDENTIFIES DANS LES SIMULATEURS DE FEUX 20
II.3.1. Les gaz asphyxiants (CO, CO_2, HCN) *21*
II.3.2. Les gaz irritants (NO_x (NO + NO_2), SO_2, HCl) *23*
II.3.3. Les Composés Organiques Volatiles (COV : C_xH_y) *26*
II.3.4. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) *26*
II.3.5. Les goudrons *26*
II.3.6. Les suies et particules *27*
II.4. L'ACTION DE LA CMIC 29
II.4.1. La détection de toxiques par tubes et toximètres électrochimiques *29*
II.4.2. La détection par PID et AP4C *29*
II.4.3. L'HbCO (Carboxyhémoglobine) *30*

III. LA MODELISATION A L'AIDE DE L'OUTIL FIRE DYNAMIC SIMULATOR (F.D.S) **30**

III.1. LE LOGICIEL FDS DEVELOPPE PAR LE NIST 30
III.2. LA MODELISATION 30
III.3. DEVELOPPEMENT DES OUTILS A PARTIR DES MODELISATIONS REALISEES 32
III.3.1. Composés retenus pour la modélisation *32*
III.3.2. Valeurs toxicologiques retenues *32*
III.3.3. Angles d'incidence du vent sur le simulateur de feu *33*
III.3.4. Les vitesses du vent *34*
III.3.5. Lignes de mesure *34*
III.4. EXEMPLE DE MODELISATION. 34

III.5. ANALYSE DES MODELISATIONS 35
III.6. RECOMMANDATIONS 36

CONCLUSION 38

BIBLIOGRAPHIE - WEBOGRAPHIE 39

ANNEXES 41

ANNEXE 1 : Protocoles de mesures mis en place et résultats .....
ANNEXE 2 : Outil de zonage toxicologique SO_2 .....
ANNEXE 3 : Outil de zonage toxicologique NOx .....
ANNEXE 4 : Outil de zonage toxicologique CO .....
ANNEXE 5 : Outil de zonage toxicologique suies .....
ANNEXE 6 : Convention IRIAF / ISAE ENSMA / CNRS / laboratoire Pprime / SDIS 79 .....

RESUME

Depuis une vingtaine d'années les simulateurs de feu ont vu le jour afin d'améliorer la formation des sapeurs-pompiers français sur la connaissance des phénomènes thermiques et sur les moyens de les combattre. Différents types de simulateurs sont utilisés en France. Parmi les plus utilisés, nous avons retenus dans cette étude les simulateurs « techniques de lances » et « flashover ».

Par précaution et pour limiter les désagréments liés à l'émission de fumées des simulateurs de feu, ces derniers sont souvent implantés dans des centres de formation ou dans des centres d'incendie et de secours éloignés dans la mesure du possible des zones urbaines. Cependant les SDIS sont régulièrement confrontés à des interrogations concernant ces installations. Elles peuvent provenir de riverains voire même de personnels des SDIS. En effet, leur proximité avec des zones administratives ou de locaux de vie des sapeurs-pompiers peut poser des problématiques de santé au travail.

Ces différentes expositions nécessitent de mieux les connaître qualitativement et quantitativement afin de mettre en place des barrières physiques ou organisationnelles permettant de limiter le plus possible l'impact sur les personnes et sur les différentes activités commerciales ou industrielles voisines.

En complément des outils des Cellules Mobiles d'Intervention Chimiques, les démarches mises en œuvre pour identifier les risques sur l'ensemble des cibles potentielles a nécessité l'appui de deux laboratoires de recherche en deux phases, la première pour identifier et la seconde pour quantifier les toxiques émis par les simulateurs de feu. L'identification des produits émis s'est déroulée au cours de plusieurs brûlages en condition réelle. Différents types de prélèvements ont alors été réalisés. La quantification s'est appuyée sur une modélisation dans un modèle champ en trois dimensions afin de mesurer et voir comment ces toxiques se dispersent.

Ces différents résultats ont ensuite été exploités pour mettre en relation les valeurs seuils toxicologiques des produits avec les données modélisées afin de créer des abaques à disposition des conseillers techniques en risques chimiques. L'outil proposé a pour intérêt de fournir les éléments d'analyse dans le cadre d'un projet d'implantation. Il est mis en évidence que les variations d'orientation et de vitesse du vent influencent de manière importante l'impact sur les cibles. Ainsi il sera possible d'évaluer les conséquences prévisibles pour des sites à proximité ou installations voisines.

ABSTRACT

For about twenty years fire simulators have been developed to improve the training of French firefighters on their knowledge of thermal phenomena and ways to fight them.
Various types of structures are used in France. Among the most used we identified simulators for technical water cannons and flashover simulators to observe from inside the thermal phenomena.

To limit the inconvenience associated with the emission of smokes from fire simulators, they are often located either in training centers either in fire centers and remote backup in possible urban areas. However, despite these precautions, SDIS regularly have to face up to complaints from their neighborhood. This diverse neighborhood concerns external companies as well as private homes or even firefighters themselves when the fire simulators are installed near administrative area or firefighter's rest room.

These various exposures require a better understanding of them both in quality and quantity to develop physical or organizational barriers to minimize the impact on people and on the different neighboring commercial or industrial activities of these fire simulators.

The procedures implemented to identify risks on all potential targets have required the support of two research laboratories to identify and quantify poisonous emitted by fire simulators. The identification of products issued took place during several fires in real conditions. Different types of samples were then made. Quantification was based on a three-dimensional field model to measure and observe how these toxic disperse.

One limitation of the study was based on the fact that the identified toxic should be measured using sensors available in the Chemical Intervention Mobile Units. These results were then used to correlate the toxicological threshold values of products selected with the modeled data to create a tool available for chemical hazards technical advisors. They will be able to support fire referents wishing to create or adjust the locations of their fire simulators.

INTRODUCTION

En fort développement depuis une vingtaine d'années dans les différents services départementaux d'incendie et de secours et les centres de formations privés, les simulateurs de feux sont devenus des outils incontournables dans l'apprentissage du système feu et des techniques d'interventions sur incendie.

Nous rencontrons 6 grands types de simulateurs. Chacun présente des caractéristiques propres portant sur la charge de combustible, le nombre de niveau de la structure, les types d'actions accomplies et un positionnement différent des utilisateurs

L'analyse des risques professionnels a été établie dès leurs premières mises en œuvre et conception, principalement sur le plan des risques liés aux phénomènes thermiques. Même si le risque chimique a été abordé, cela ne fût que succinctement.

L'utilisation croissante de cet outil pédagogique nous amène à nous interroger sur l'analyse toxicologique, tant pour les utilisateurs réguliers et ponctuels, que pour les riverains aux sites d'implantation.

Dans cette étude, nous chercherons à développer une analyse pragmatique des fumées d'incendie sur simulateurs de feux réels à bois, afin de conseiller les référents de la filière incendie pour l'implantation et la prévention des risques à l'aide des outils de la Cellule Mobile d'Intervention Chimique. Au vu de la diversité des installations, nos travaux se sont orientés vers les deux types de simulateurs majoritaires, le « Flashover » et le « techniques de lances ».

I. LES SIMULATEURS DE FEU UTILISES EN FRANCE

I.1. Caisson « flashover »

Avec plus de 50 caissons de ce type sur le territoire national, le caisson « flashover » (figure 1) est le plus répandu. Par l'action combinée de deux formateurs, un binôme pénètre à l'intérieur du caisson pour y observer les éléments précurseurs aux phénomènes thermiques.

Figure 1

La constitution du terme source est ici une charge combustible composée de panneaux de bois agglomérés, d'une surface de 12 m^2, soit environ 100 kg, ainsi que d'un dispositif d'allumage d'une demi-palette et de mousse polyuréthane (figure 2). La combustion est contrôlée par les formateurs via l'action coordonnée d'exutoires et de la lance.

Figure 2

Les fumées sont extraites par les portes principales, la cheminée centrale et les exutoires latéraux.

Les utilisateurs sont au plus près de la source lorsqu'ils se trouvent à l'intérieur. Un deuxième binôme reste en sécurité à l'extérieur de la structure. Les rôles se trouvent ensuite inversés. Le temps de brûlage est d'une durée d'environ 30 minutes.

I.2. Caisson « techniques de lances »

Le caisson « technique de lance » (figure 3) est lui d'une technologie plus simple. Nous retrouvons environ une quarantaine d'exemplaires en France. Les configurations varient à quelques détails près sans influencer de façon notable les caractéristiques. D'une taille de 20 ou 40 pieds, le conteneur dispose d'un plancher en briques réfractaires et d'un écran de cantonnement en partie haute, afin de contenir les fumées et augmenter leur retour énergétique.

Figure 3

Le foyer est composé d'une trentaine de palettes, soit environ 300 kg, et d'un élément de mousse polyuréthane. Les fumées sont extraites par les portes principales.

Les utilisateurs restent en observation à l'entrée du conteneur et réalisent des techniques de lances sur les gaz chauds. Le temps de brûlage est d'environ 30 minutes.

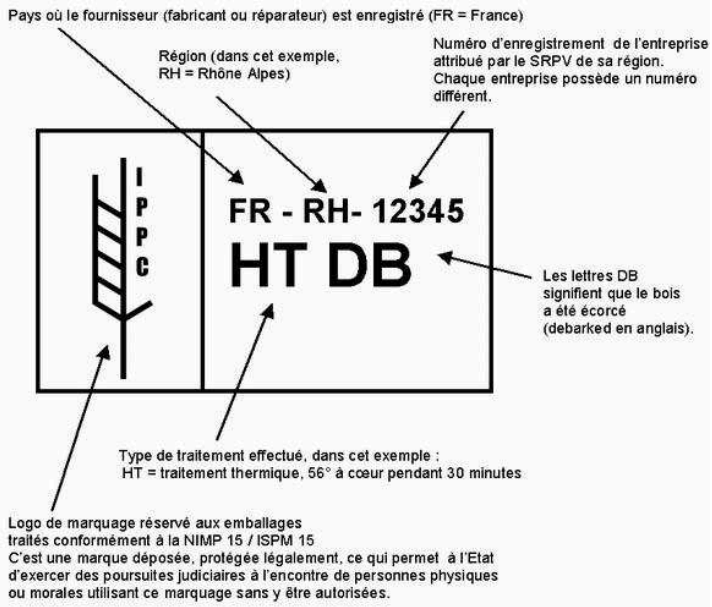
I.3. Présentation du terme source

I.3.1. Palette (traitement MB ou HT, …)

La Norme International pour les Mesures Phytosanitaires (NIMP) n°15 de 2009 portant sur la réglementation des matériaux d'emballage en bois utilisés dans le commerce international précise la nature des traitements apportés au bois afin de lui conférer une résistance contre les champignons et bactéries.

Deux traitements possibles sont utilisés :

- Un traitement thermique consistant à chauffer le bois à 56 °C à cœur pendant 30 minutes. Un marquage est alors apposé avec le symbole « HT » (heat).
- Un traitement chimique par fumigation au Bromure de Methyl (CH3Br). Un marquage est alors apposé avec le symbole « MB ».



Ce produit est interdit dans l'union européenne depuis le 18 mars 2010 suite à la parution du règlement n° 1005/2009 du 16/09/09 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (art 12).

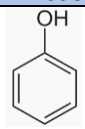
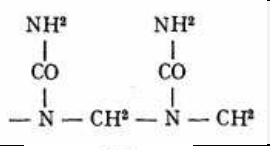
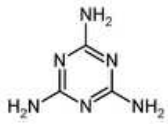
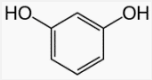
La possibilité de trouver des produits de décomposition du bromure de méthyl dans les fumées est donc exclue pour les palettes provenant de l'Union Européenne.

Les palettes sans marquage sont destinées à être utilisé à l'intérieur du territoire national et n'ont subi aucun traitement.

I.3.2. Contreplaqués et panneaux agglomérés

Le contreplaqué utilisé lors des brûlages en caisson flashover est un matériau constitué d'un ensemble de couche de bois assemblé par des colles thermodurcissables de type polymère à base de formaldéhyde (formol : CH_2O).

Les principales colles utilisées pour assembler le contreplaqué sont synthétisés dans le tableau suivant :

	Désignation	Abréviation	Nom de la molécule	Formule chimique	Structure chimique de base
Colle	Phénolique	PF	Phénol	C_6H_6O	
	Urée formol	UF	Urée formol	$C_3OH_6N_2$	
	Mélamine	MF	1,3,5-triazine-2,4,6-triamine	$C_3H_6N_6$	
	Récorcine	RF	benzène-1,3-diol	$C_6H_6O_2$	

La quantité de colle représente entre 5 et 12 % de la masse du produit final. A titre indicatif, le poids d'1 m^2 de contreplaqué de 18 mm d'épaisseur est de 8 kg.

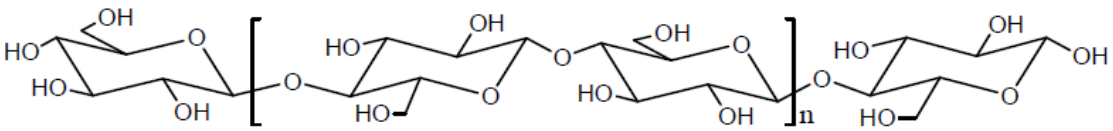
I.3.3. Bois (composition naturelle)

La connaissance de la composition chimique du bois permet de prévoir quels seront les produits de décomposition engendrés par la combustion de ce dernier. En première approximation, on admet que la composition élémentaire moyenne du bois sec est la suivante :

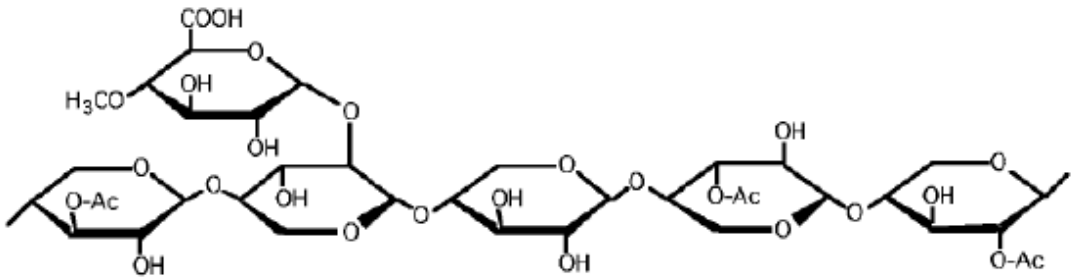
- ~ 50 % de carbone,
- ~ 40% d'oxygène,
- ~ 6% d'hydrogène,
- ~ 4% d'extractible.

De manière plus précise, le bois est constitué des éléments suivant :

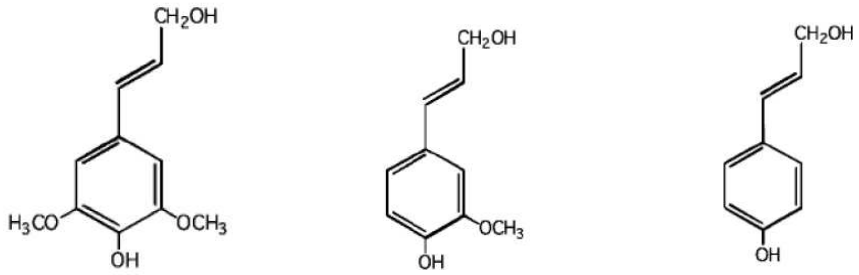
- La cellulose : c'est le composant essentiel du bois. On la retrouve à hauteur de 50 %. Son rôle est d'assurer une bonne tenue et résistance mécanique de l'arbre. La cellulose est un polymère du glucose représenté de la manière suivante :



- L'hémicellulose : on la retrouve à hauteur de 25 % dans le bois, sa fonction est de relier la cellulose à la lignine. L'hémicellulose est un polymère associant à répétition les trois sucres suivants : le glucose, le mannose et la xylose de la manière suivante :



- La lignine : elle compose le bois à hauteur de 25 %. Elle permet de joindre les fibres de bois entre elles afin d'assurer la rigidité cellulaire. La lignine est un composé polymère regroupant les 3 alcools phénoliques suivants :



Alcool sinapylique *Alcool coniférylique* *Alcool p-coumarylique*

- <u>Les extractibles :</u> ce sont des molécules qui peuvent être extraites du bois par des solvants polaires (acétone, eau, éthanol) ou apolaires (toluène, cyclohexane, dichlorométhane). Citons à titre d'exemple : les tannins, les acide gras saturés et insaturés, les cires, les résines et les inorganiques.

Parmi les inorganiques, le bois peut contenir :

- des composés soufrés (~ 0,02%),
- des composés azotés (~ 0,02%),
- du chlore (~ 0,03%),
- des traces d'éléments métalliques tels que le cuivre, le manganèse et le zinc (~ 0,01%).

Bien qu'ils ne représentent qu'un faible pourcentage, l'odeur, la couleur et la résistance aux agents de dégradation biologique, dépendent en grande partie de ces extraits.

Les composés minéraux sont représentés essentiellement par le calcium, potassium et magnésium.

I.3.4. Produits et matériaux de démarrage (mousse polyuréthane, ….)

L'allumage des feux de palettes est régulièrement réalisé à l'aide de mousse polyuréthane issue soit de matelas soit de siège automobile mais en quantité relativement faible par rapport à la charge de bois.
Parmis les composants utilisés dans la mousse de polyuréthane, nous pouvons citer les éléments suivants : isocyanates, chlorure de méthylène, 1,1,1 trichloroéthane, acétone, benzène, oxyde d'éthylène et formaldéhyde. Des retardateurs de flammes bromés ou chlorés peuvent également être ajoutés dans la composition des mousses.

I.4. Analyse du terme flux

I.4.1. Transfert de polluant par les fumées des simulateurs

A l'occasion des essais, nous avons constaté que le terme flux varie selon les paramètres suivants :

- Orientation du vent et du caisson,
- Manœuvre des exutoires et les apports en air frais,
- Manœuvre des lances,
- Phases de développement du feu.

Les observations d'exercices sur simulateurs permettent d'identifier très clairement un mode d'émission par séries de bouffées directement liées aux manœuvres de lance et d'exutoires. Un phénomène de retombée est aussi observé à une distance de 50 m sous le vent. La diffusion est alors prépondérante.

En revanche, le nombre d'ouvrant ou la présence de cheminée en partie haute n'influe pas. Le conteneur n'étant pas étanche par conception, nous observons une reconstitution homogène du nuage à 5 m sous le vent.

Les températures mesurées dans les fumées présentent des variations importantes en fonction de leur localisation. En partie haute du simulateur, elles atteignent 800°C. Le gradient thermique chute rapidement pour perdre plusieurs centaines de degrés en moins de 50 cm. Ces variations de températures rendent impossible la modélisation du terme flux par les outils classiques utilisés dans les CMIC (détection, acquisition de données et logiciels informatiques).

I.4.2. Transfert de polluants par désorption des Equipements de Protection Individuelle

Dans la bibliographie, ce phénomène de désorption des EPI reste peu développé. Le caractère odorant des tenues textiles post-incendie nous permet d'affirmer une capacité d'adsorption de celles-ci. Cependant, qu'en est-il pour l'adsorption et la désorption des principaux polluants identifiés ? La désorption est-elle immédiate ou retardée ?

Les utilisateurs sont potentiellement exposés à la désorption des EPI à deux reprises :

- Débriefing post-brûlage,
- Zone de stockage des tenues.

Pour la prise en compte de ce transfert, plusieurs pratiques sont rencontrées. Les pays nordiques et sud-américains conditionnent en sac les tenues après exposition à un sinistre. S'ensuit un nettoyage systématique.

En France, les pratiques sont diverses mais le nettoyage systématique n'est pas réalisé. Les tenues peuvent être soit ventilées après la phase d'extinction à l'aide d'un simple ventilateur thermique, soit entreposées dans des armoire ventilées et séchantes, ou tout simplement rangées en vestiaire sans action particulière. Dans le cadre des feux sur simulateurs, les débriefings se font avec la tenue partiellement ou totalement retirée.

II. METHODOLOGIE DEVELOPPEE POUR L'ETUDE

II.1. La démarche d'identification des gaz

II.1.1. Identification primaire et la démarche avec l'INSA

Une première journée de brûlage sur les deux simulateurs de feux réels du SDIS76 a été réalisée le 1er juin sur le site de Tourville la Rivière (76). Cette journée avait pour objectif d'établir une première identification qualitative des gaz émis. Les feux sur simulateurs sont souvent réduits dans l'analyse du risque à « un simple feu de bois ». La prise en compte du risque toxique peut s'avérer erroné par rapport à un feu d'habitation, que nous appellerons « feux conventionnels », où les intervenants sont sensibilisés en raison de la diversité des matériaux.

Développée dans une étude sur les intoxications cyanhydriques des sapeurs-pompiers par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS – TF197), la liste des toxiques identifiés sur des feux conventionnels sont le monoxyde de carbone (CO), l'acide cyanhydrique (HCN), les oxydes d'azotes (NO_x) et le dioxyde de souffre (SO_2). Ces éléments sont détectables à l'aide des moyens de la CMIC.

D'autres produits toxiques, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et notamment le benzonitrile (C_6H_5CN) sont cités. Ces HAP ne sont pas détectables par les outils d'une CMIC conventionnelle. Le passage par une analyse d'un prélèvement est nécessaire. Cette technologie peut nous être apportée par les Véhicules de Détection d'Identification et de Prélèvement (VDIP). En complément de ses outils, la CMIC de Seine-Maritime dispose d'une convention d'aide mutuelle avec l'INSA (Institut National des Sciences Appliquées) implanté à Saint-Etienne du Rouvray près de Rouen. Cette convention prévoit la possibilité pour le SDIS76 de faire analyser par chromatographie des échantillons d'air par tube ou sacs de prélèvements. La technologie utilisée par l'INSA nous a donc permis de travailler sur l'identification des HAP.

La démarche pratique consistait à confirmer ou non ces données bibliographiques dans le cadre de feu sur simulateur « flashover » et « techniques de lance », où les charges combustibles sont différentes d'un feu conventionnel. Il a été choisi d'orienter les mesures suivant trois protocoles (annexe 1) :

- Réseau de mesure à l'aide des toximètres électrochimiques et de l'AP4C de la CMIC76 durant toutes les phases d'un exercice,
- Mesure de l'intoxication au CO des utilisateurs, par relevés HbCO,
- Analyse de 3 prélèvements d'air durant la phase de combustion en collaboration avec l'INSA.

Ceci nous a permis de confirmer la présence de certains produits rencontrés sur feu d'habitation.
Une identification primaire des polluants a été réalisée par un réseau de mesures à l'aide des détecteurs électrochimiques de la CMIC. Ce réseau était matérialisé par un point de mesure à 5m et 8m sur chacune des faces des simulateurs. Nous avons obtenu des réactivités sur les appareils suivants :

- CO (1 à 50ppm)
- HCN (1 à 6ppm)
- HCl (1 à 6 ppm)
- NOx (mesures ponctuelles de l'ordre de 1 ppm)

Une analyse complémentaire a également été réalisée à l'aide de l'AP4C et du S4PE (Système de Prélèvement Portatif des Persistants Par Evaporation) sur les parois intérieures des caissons. Sur les deux types de caissons, le capteur HNO a réagi. Sur le caisson flashover, le capteur P (phosphore) a réagi. Sur le caisson « techniques de lances », la cellule S (souffre) a réagi. Ceci étant cohérent avec la formation de produit et composés soufrés lors d'incendie.

Enfin, 3 échantillons ont été mis à l'étude en partenariat avec l'INSA :

- 1 sur simulateur « Flashover » – SDIS76
- 1 sur simulateur « technique de lances » - SDIS76
- 1 sur simulateur « technique de lances » du SDIS79 pour élément comparatif (7/06/2016).

Ces échantillons ont été réalisés par tubes à l'aide d'un PID de la marque RAE ou par une pompe Escort Elf Pump de la marque MSA, pendant une durée de 20min, en plein développement du feu. Après analyse des échantillons par l'INSA, les éléments suivants ont pu être identifiés :

Composés identifiés		
benzaldehyde	Phenol	Phenanthrene
Benzonitrile (sur prélévements 2 et 3)	p-Cresol (ou isomere)	4H-cyclopetan(def)phenanthrene
1 propenyl benzene	1H-Phenalene	Pyrene
Indene	Fluorene	Fluoranthene
Acenaphthene	9-methyl-9H-fluorene	2-ethyl-naphtalene
Acenapthylene	1(2H)-acenaphthylenone	2-ethenyl naphtalene
1-methylnaphtalene	Anthracene	Naphtalene
2-methylnapthalene	butylhydroxytoluene	undecane

Les produits relevés sur les caissons « techniques de lance » sont identiques pour les brûlages SDIS76 et SDIS79.

II.1.2. La démarche avec l'IRIAF

Cette démarche d'identification qualitative s'est poursuivie, pour confirmation et comparaison des éléments détectés, au cours des brûlages réalisés dans des simulateurs de technique de lance les 7 et 9 juin au SDIS79.

Les relevés toximètriques qui se sont avérés positifs lors de la première session ont été reproduits. De plus des prélèvements ont été effectués par l'Institut des Risques Industriels Assurantiels et Financiés (IRIAF) à l'aide de bonbonnes. Ils ont été ensuite analysés par spectromètrie à transformée de Fourier. Un prélèvement par tube analysé par l'INSA a également été effectué (résultats dans le chapitre précédent).

Voici une synthèse des prélèvements réalisés.

- 4 prélèvements d'air en partie haute du simulateur ont été réalisés dans des bonbonnes :

Prélèvements en partie haute du simulateur techniques de lances (en ppm)					
Composants		**Prélèvement n°1**	**Prélèvement n°2**	**Prélèvement n°3**	**Prélèvement n°4**
CO	Monoxyde de carbone	**5604**	**12199,5**	**3672**	**3196**
CO_2	Dioxyde de carbone	**24888**	**73141,5**	**31756**	**18520**
CH_4	Méthane	**2565**	**2680,5**	**1158**	**718**
C_2H_2	Acétylène	**273**	**34,5**	/	**107**
C_2H_4	Ethylène	**867**	**640,5**	**203**	**191**
C_2H_6	Ethane	/	/	/	/
C_3H_6	Propène	**63**	/	/	/
C_3H_8	Propane	/	/	/	/
NO	Oxyde d'azote	/	/	/	/
NO_2	Dioxyde d'azote	/	/	/	/
N_2O	Protoxyde d'azote	/	/	/	/
NH_3	Ammoniaque	/	/	/	/
HCN	Acide cyanhydrique	/	/	/	/
SO_2	Dioxyde de souffre	/	/	/	/
H_2O	Eau	**53442**	**53004**	**45635**	**41465**
HCl	Acide chlorhydrique	/	/	/	/

- 2 prélèvements sous le vent à 20 mètres de distance :

Prélèvements à 20 mètres du simulateur techniques de lances (en ppm)			
Composants		**Prélèvement n°1**	**Prélèvement n°2**
CO	Monoxyde de carbone	/	/
CO_2	Dioxyde de carbone	**471**	**848**
CH_4	Méthane	/	/
C_2H_2	Acétylène	/	/
C_2H_4	Ethylène	/	/
C_2H_6	Ethane	/	/
C_3H_6	Propène	/	/
C_3H_8	Propane	/	/
NO	Oxyde d'azote	/	/
NO_2	Dioxyde d'azote	/	/
N_2O	Protoxyde d'azote	/	/
NH_3	Ammoniaque	/	/
HCN	Acide cyanhydrique	/	/
SO_2	Dioxyde de souffre	/	/
H_2O	Eau	**40277**	**44260**
HCl	Acide chlorhydrique	**3**	/

- 2 prélèvements dans le local de stockage des vestes de feu juste à l'issue d'un brûlage :

L'objectif de ces 2 prélèvements était de pouvoir mettre en évidence la capacité de relarguage de composés chimiques par désorption des tenues de feu exposées aux fumées des simulateurs.

Prélèvements à 20 mètres du simulateur techniques de lances (en ppm)			
Composants		**Prélèvement n°1**	**Prélèvement n°2**
CO	Monoxyde de carbone	/	/
CO_2	Dioxyde de carbone	**471**	**848**
CH_4	Méthane	/	/
C_2H_2	Acétylène	/	/
C_2H_4	Ethylène	/	/
C_2H_6	Ethane	/	/
C_3H_6	Propène	/	/
C_3H_8	Propane	/	/
NO	Oxyde d'azote	/	/
NO_2	Dioxyde d'azote	/	/
N_2O	Protoxyde d'azote	/	/
NH_3	Ammoniaque	/	/
HCN	Acide cyanhydrique	/	/
SO_2	Dioxyde de souffre	/	/
H_2O	Eau	**40277**	**44260**
HCl	Acide chlorhydrique	**3**	/

II.1.3. Limites de cette démarche

Etant confronté à un flux sous mode bouffée, les réseaux de mesure réalisés à l'aide des détecteurs électrochimiques sont limités et aléatoires pour les composés en faible valeur. Au-delà des seuils de détection des appareils, la présence du porteur au moment de la bouffée n'est pas forcément évidente. Par conséquent, nous avons pu rencontrer des mesures nulles aux toximètres électrochimiques, et avoir des valeurs significatives directement en sortie de caisson (prélèvements et arbre de capteurs de l'IRIAF)

Concernant les prélèvements de l'IRIAF et la technique de prélévement mis en œuvre, les hydrocarbures dont la composition chimique comporte plus de 3 atomes de carbone n'ont pas pu être identifiés car ces derniers se condensent lors de leurs prélèvements.

II.1.4. Bilan de la démarche d'identification

Durant ces tests et grâce aux outils de la CMIC, nous avons identifié les composés suivants :

- Acide cyanhydrique,
- Acide chlorhydrique,
- Monoxyde de Carbone,
- Dioxyde de Carbone,
- Hydrocarbures et H.A.P,
- Oxydes d'azote,
- Produits soufrés,
- Eau,
- Suies.

Les outils de détection de la CMIC restent limités. A leur conception, les CMIC ont été créés pour détecter et identifier les dangers et non quantifier ou analyser un large spectre de produits. Des conventionnements ou l'intervention de moyens complémentaires sont nécessaires pour engager des prélèvements avec des analyses complémentaires.

II.2. La démarche de quantification

II.2.1. Quantification continue des principaux composés

Après avoir travaillé sur l'identification des produits présents dans les fumées produites par les simulateurs de feux, nous avons engagé des démarches pour travailler avec l'IRIAF afin de mettre en œuvre des protocoles pour quantifier les principaux gaz émis dans les fumées.

Afin de mener les travaux, la convention signée à cette occasion lie les partenaires suivants, l'IRIAF, le laboratoire Pprime cofinancé par l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique (ENSMA), le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) et l'Université de Poitiers et le SDIS des Deux Sèvres.

Les principaux gaz retenus dans le cadre de cette étude ont été :

- Le monoxyde de carbone (CO),
- Le dioxyde de carbone (CO_2),
- L'oxyde d'azote (NO),
- Les oxydes d'azote regroupant l'oxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2),
- Le dioxyde de souffre (SO_2).

Ces gaz ont été retenus pour deux raisons. Ils sont les principaux composés issus de la combustion du bois et sont mesurables par des cellules électrochimiques généralement disponibles dans des CMIC.

L'objectif de la démarche de quantification était de pouvoir mesurer de manière continue l'évolution de la concentration en fonction du temps de ces toxiques, en partie haute d'un simulateur « techniques de lance ».

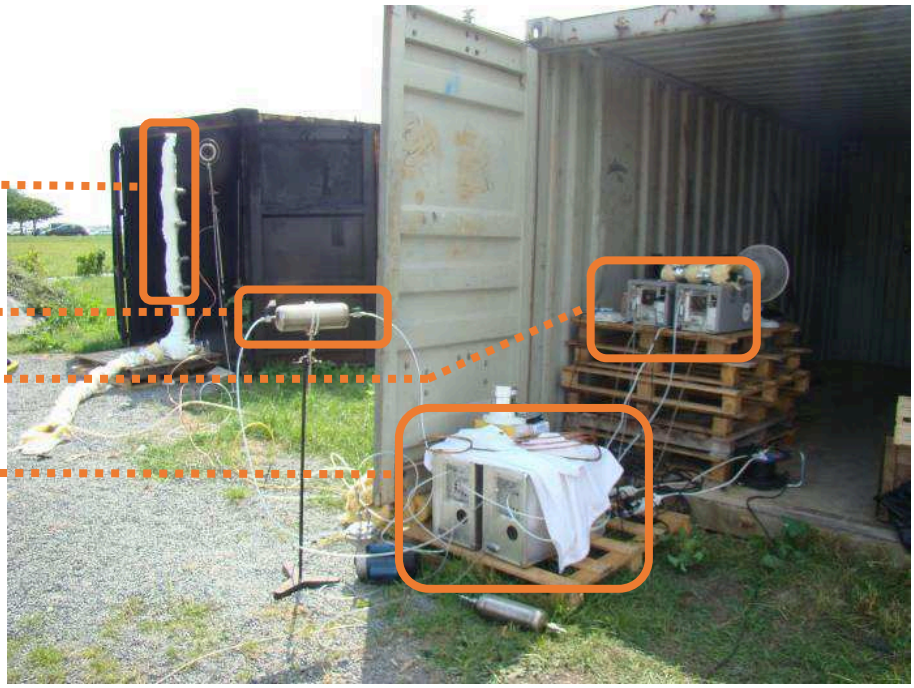
Ces mesures en continue ont été réalisées à l'aide d'un appareil portatif dénommé horiba couplé au logiciel d'acquisition de données PG250. L'horiba 250 est composé des sondes d'analyses suivantes :

- Analyseur de NO et NO_x (NO + NO_2) par chimiluminescence,
- Analyseur d'O_2 paramagnétique,
- Analyseur de CO et SO_2 par infrarouges,
- Analyseur de CO_2 pyroélectrique.

Pour cela, 3 brûlages ont été réalisés sur 2 jours :

- Le premier brûlage réalisé le 7 juin a servi d'ajustement de la méthode en l'absence de tout stagiaire à former.
- Le 9 juin les démarches de quantification des gaz se sont poursuivies en condition réelle de stage avec 12 stagiaires en formation d'adaptation à l'emploi de chef d'équipe. Un brûlage a été réalisé le matin et un second l'après-midi.

Le dispositif ci-dessous a été mis en œuvre afin de réaliser les analyses :



Les résultats de ces prélèvements sont joints en annexe 1 de ce mémoire dans la partie « Protocole de mesures ».

II.2.2. Quantification ponctuelle des composés minoritaires

Les autres gaz tels que l'acide cyanhydrique, l'acide chlorhydrique et l'ammoniac ont été quantifiés uniquement à l'aide de détecteurs équipés de cellules électrochimiques par le biais d'un réseau de mesure dans un rayon de 5 et 8 mètres autour des simulateurs techniques de lance et flashover.
Des mesures ont également été réalisées à 50 mètres en fonction des retombés des panaches de fumées.

Les résultats de ces prélèvements sont joints en annexe de ce mémoire dans la partie « Protocole de mesures ».

De manière synthétique, dans les rayons de 5 et 8 mètres du réseau de mesure :

- aucune détection de NH_3 n'a été relevée,
- des valeurs, par bouffée, comprises entre 2 et 10 ppm ont été relevées pour l'HCN,
- une valeur de 6 ppm d'HCl a pu être mesurée en phase de croissance du feu. Cette valeur correspond à l'allumage du foyer avec de la mousse polyuréthane.

II.2.3. Quantification des composés relargués par les tenues de feu

La journée du 9 juin a été choisie pour essayer de quantifier les produits pouvant être relargués par les tenues de feu après adsorption de ces derniers.
Le matériel de prélèvement en continu est un testo t350 XL permettant de mesurer les hydrocarbures ainsi que le CO, NO, NO_2, SO_2, H_2. Ce type de protocole vient compléter l'identification mise en place, par prélèvement, dans les locaux de stockage des Equipements de Protection Individuels.

Le tableau ci-dessous reprend les pics de concentration qui ont pu être mesurés sur le créneau horaire de 11h02 à 13h38 :

Testo t350 XL	% O_2	CO (ppm)	NO (ppm)	SO_2 (ppm)	NO_2 (ppm)	NO_x (ppm)	C_xH_y (ppm)	H_2 (ppm)
	21,07	2	0	0	0	0	100	16

L'analyse en continue mise en place a permis de montrer qu'à partir de :

- 11h05 la concentration de CO dans le vestiaire atteint 0 ppm
- 11h11 la concentration d'hydrocarbure C_xH_y atteint 0 ppm
- la concentration en hydrogène ne cesse d'augmenter pour passer de 2 ppm à 16 ppm et se stabiliser à ce niveau. La présence d'hydrogène est due à la rupture de liaisons moléculaires que l'appareil ne peut mesurer.

Ces résultats ne permettent pas de définir quels sont les composés précis relâchés par désorption. Ils permettent uniquement de mettre en évidence ce phénomène sur les tenues de feu relarguant de manière différée des produits chimiques. Afin d'identifier ces derniers, un protocole supplémentaire devrait être mis en place afin d'isoler dans un caisson hermétique les tenues pour récupérer les gaz émis par un système d'aspiration.

II.2.4. Exposition au monoxyde de carbone

Le monoxyde carbone étant le gaz principal émis lors de combustion incomplète, nous avons souhaité mesurer le taux d'HbCO en pourcentage dans le sang.

Pour cela, des protocoles de mesures ont été mis en œuvre avec l'aide d'infirmiers du Service de Santé et de Secours Médical. L'ensemble des résultats des protocoles sont disponible dans l'annexe 1 du présent mémoire.

<u>Mesure de l'HbCO au niveau du SDIS 76.</u>

Une exposition des formateurs lors du 2ème chargement du caisson techniques de lances où une concentration de 30 ppm à l'intérieur a été mesurée (hausse de 3% de l'HbCO de ces formateurs). Cet événement est dû au rechargement d'un simulateur utilisé le matin même et non ventilé.

Mesure de l'HbCO au niveau du SDIS 79.

Nous avons profité de la réalisation de brûlage en simulateur techniques de lance pour des chefs d'équipe afin de réaliser des mesures d'HbCO dans le sang avant et après le brûlage.
Au total, deux brûlages ont été réalisés. Sur chaque brûlage, 6 stagiaires sont encadrés par 3 formateurs

Au cours du premier brûlage, aucune exposition au monoxyde de carbone n'a été mesurée sur les 3 formateurs et sur les 6 stagiaires.
Au cours du second brûlage, il a été relevé une hausse du pourcentage d'HbCO dans le sang de 1 à 3 % selon les personnes pour 2 formateurs et 4 stagiaires. L'ensemble des protocoles de sécurité défini dans le cahier des charges d'utilisation du simulateur ont bien été respecté. Ces expérimentations mettent en avant une faible exposition possible des stagiaires et formateurs malgré un respect des consignes et protocoles de sécurité validé dans les SDIS.

II.2.5. Les expositions aux acides cyanhydrique et chlorhydrique

L'exposition à ces gaz est constatée uniquement durant les phases de brûlage. Les quantités relevées dépassent ponctuellement des valeurs toxicologiques significatives.

Souvent considérés comme des « simples feux de bois », la notion de dangerosité des fumées est minorée par les utilisateurs. La présence de ces composés, à des seuils notables, permet de rompre avec ce discours. Il est donc nécessaire de pouvoir faire des contrôles ponctuels à l'aide de cellules électrochimiques, dans un but préventif et pédagogique.

II.3. Les principaux toxiques identifiés dans les simulateurs de feux

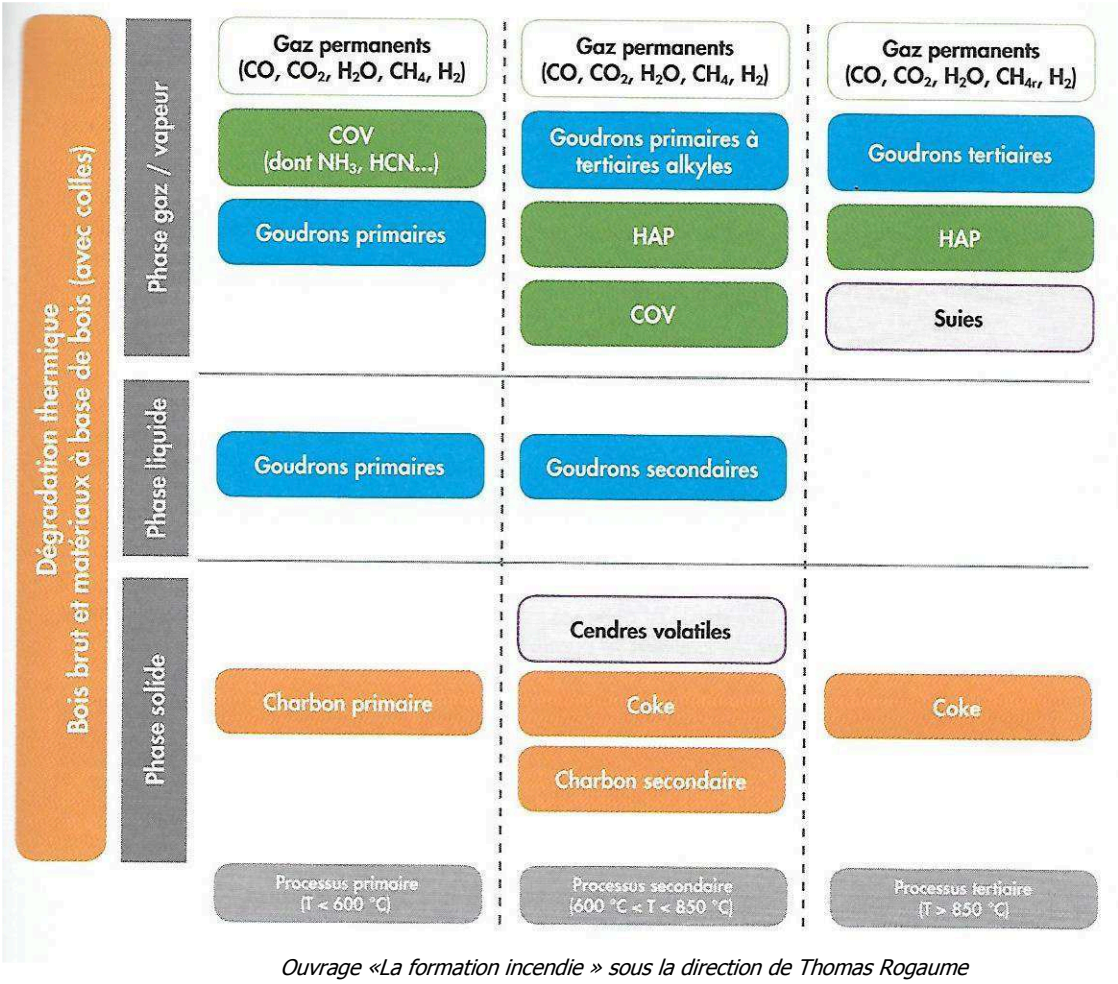
Lors de la réaction chimique de combustion du bois et lors de sa pyrolyse, ses constituants vont se dégrader en subissant des réactions chimiques en chaine de nature très variées. Dès 200 °C, les caractéristiques du bois vont être impactées par la modification des chaînes de polymères qui le constitue.

Les molécules vont donc se fragmenter, se réarranger et se recombiner jusqu'à 800°C. En conséquence, ses différentes réactions vont générer de nouvelles espèces chimiques plus ou moins lourdes et condensables ainsi que la formation de charbon et de liquides.
Au dessus de 800°C, il ne reste plus que des suies, du coke, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (benzène, benzo(a)pyrène,…) et des gaz non-condensables (CO, CO_2, CH_4,…)
La dégradation thermique du bois conduit donc à la formation de matières volatiles telles que des gaz légers, des Composés Organiques Volatils, des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, des goudrons et des suies.

Les différents éléments du bois se décomposent aux températures suivantes :

- Hémicellulose : 200 – 260°C
- Cellulose : 240 – 350 °C
- Lignine : 280 – 500 °C

Le schéma ci-dessous synthétise les différents produits de transformation en fonction de la température.



Ouvrage «La formation incendie » sous la direction de Thomas Rogaume

II.3.1. Les gaz asphyxiants (CO, CO_2, HCN)

- **Le dioxyde de carbone (CO_2)**

Le CO_2 est présent en grande quantité par définition dans les fumées issues des réactions de combustion de la plupart des matériaux.

A faible dose, il n'est pas toxique en soit, mais engendre un effet d'hyperventilation qui accroit l'absorption des autres toxiques. A forte dose, il présente un effet asphyxiant.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant le CO_2 :

En ppm	VSTAF 30 minutes en ppm			AEGL 30 minutes en ppm			ERPG 1 heure en ppm			IDLH
	SER	SEI	SEL	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3	
CO_2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	4000

- **Le monoxyde de carbone (CO)**

Le CO est considéré comme le principal gaz asphyxiant en raison de sa production d'autant plus importante que la réaction de combustion est incomplète ou sous-ventilée et en raison de son mode d'action sur les cellules de l'organisme humain.

En temps normal, l'hémoglobine, présente à l'intérieur des globules rouges du sang, permet de fixer le dioxygène que nous respirons pour former grâce au fer des globules rouges un complexe appelé l'oxyhémoglobine (HbO2). Cette molécule véhicule ensuite le dioxygène vers les différentes cellules de l'organisme humain.
En cas d'exposition au CO, la réaction avec l'hémoglobine forme un complexe très stable appelé le carboxyhémoglobine (HbCO). Ce complexe remplace alors l'oxyhémoglobine nécessaire à l'oxygénation du corps humain. Le CO est donc un toxique sanguin causant l'asphyxie.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant le CO :

En ppm	**VSTAF 30 minutes en ppm**			**AEGL 30 minutes en ppm**			**ERPG 1 heure en ppm**			**IDLH**
	SER	**SEI**	**SEL**	**AEGL1**	**AEGL2**	**AEGL3**	**ERPG1**	**ERPG2**	**ERPG3**	
CO	/	1500	4200	/	150	600	200	350	500	1200

Synthèse des effets du Co sur l'homme :

Concentration CO en ppm	**Durée**	**% d'HBCO par rapport à l'hémoglobine dans le sang**	**Symptôme**
50	8 heures	10	Maux de tête
200	2 heures	20	Légers – Diminution significative de la perception visuelle, de la dextérité, des facultés d'apprentissage,…
1000	1 heure	40	Graves (syncopes)
5000	10 min	50	Très grave
10 000	1 min	85-90	Mort rapide

- **L'acide cyanhydrique (HCN)**

Ce gaz est considéré avec le CO comme la principale cause de risque toxique létal des fumées car il est à l'origine d'un nombre élevé de victime au cours d'incendie.
L'HCN est présent dans les fumées de combustion de tous les matériaux azotés, naturels (laine, coton,…) ou artificiel (plastique, colle, mélamine, …)

Mode de production principal de l'acide cyanhydrique et des cyanures :

$$CH_2 + N_2 \longrightarrow HCN + NH$$

$$CH + N_2 \longrightarrow HCN + N$$

$$C + N_2 \longrightarrow CN + N$$

D'une manière générale : $CH_x + N_2 \longrightarrow HCN$

La proportion d'azote dans le bois par rapport à l'ensemble des composés est très faible. (0.02%). L'HCN s'oxyde avec le dioxygène de l'air entre 150 et 600°C, ce qui a pour conséquence de casser ses liaisons moléculaires.
Lors des exercices en simulateur de feu, des températures de l'ordre de 700 à 800 °C sont atteintes dans les fumées. Cela a pour conséquence de limiter très fortement la formation d'HCN en phase de plein développement du foyer.

L'acide cyanhydrique est absorbé par la respiration et par la peau en provoquant l'asphyxie de la même manière que le CO.
Les molécules d'HCN provoquent l'asphyxie par inhibition de la respiration au niveau des mitochondries, qui sont les organites énergétiques des cellules. Le mécanisme d'asphyxie est en effet lié à l'action des ions cyanure sur la cytochrome-C-oxydase, enzyme terminale de la respiration mitochondrienne
La chaine de la respiration se retrouve ainsi bloquée sans pouvoir utiliser l'oxygène nécessaire à son bon fonctionnement. Ce processus est réversible si un traitement spécifique est délivré rapidement.
Si l'HCN peut provoquer la mort à très court terme, il peut également engendrer plusieurs jours après son inhalation des complications respiratoires chroniques ou même le décès.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant l'HCN:

En ppm	**VSTAF 30 minutes en ppm**			**AEGL 30 minutes en ppm**			**ERPG 1 heure en ppm**			**IDLH**
	SER	**SEI**	**SEL**	**AEGL1**	**AEGL2**	**AEGL3**	**ERPG1**	**ERPG2**	**ERPG3**	
HCN	**/**	/	60	2,5	10	21	/	10	25	50

II.3.2. Les gaz irritants (NO_x (NO + NO_2), SO_2, HCl

- **Les NO_x (NO + NO_2)**

Le monoxyde d'azote NO est le composé azoté toxique et polluant qui est produit en quantité prépondérante au cours des processus de combustion. On distingue trois catégories de mécanismes de formation de NO selon l'origine du diazote.
Deux mécanismes mettent en jeu les atomes d'azote N provenant de l'azote de l'air : le mécanisme du NO-thermique et le mécanisme du NO-précoce. Le troisième mécanisme s'appuie sur l'azote pouvant être lié à la chaîne carbonée du combustible : le mécanisme du NO-combustible.

- NO « thermique »

N_2 + O $\longrightarrow$ NO + N (réaction n°1)

N + O_2 $\longrightarrow$ NO + O (réaction n°2)

N + radicaux OH $\longrightarrow$ NO + H (réaction n°3)

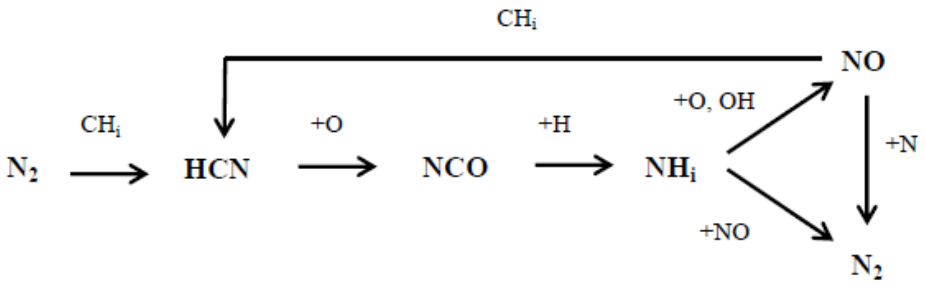
Ce mécanisme ne concerne par les feux en simulateur car le craquage des liaisons moléculaires du diazote (N_2) de l'air nécessite des températures supérieures à 1200°C.

- NO « précoce »

Ces réactions sont prépondérantes dans le front de flamme pendant la courte durée de vie des espèces CH_x. Le mécanisme du « NO-précoce » est dominé par la réaction d'initiation principale :

CH + N_2 $\longrightarrow$ HCN + N (réaction n°1)

La molécule d'azote produite réagit alors suivant les réactions décrites dans le mécanisme du NO-thermique. L'acide cyanhydrique HCN est rapidement oxydé pour former NO ou N2 selon le processus ci-dessous :



- NO « combustible »

La production de NO dans les simulateurs est directement liée à la présence de composés azotés en faible quantité dans le combustible.

Les liaisons carbone - azote ont une énergie de liaison bien plus faible que celle de la triple liaison N≡N de N2. Cette voie de formation de NO sera donc plus facile et plus rapide à «basse température» que celle du mécanisme du NO-thermique.

Des réactions rapides conduisent à la formation de l'acide cyanhydrique, HCN, qui réagit avec l'oxygène :

HCN + O ⟶ H + NCO (réaction n°1)

HCN + O ⟶ OH + CN (réaction n°2)

HCN + O ⟶ NH + CO (réaction n°3)

Le radical CN produit NCO via :

CN + O2 ⟶ NCO + O (réaction n°4)

CN + OH ⟶ NCO + H (réaction n°5)

En milieu oxydant, NCO conduit à NO et au monoxyde de carbone CO via les réactions suivantes :

NCO + OH ⟶ NO + CO + H (réaction n°6)

NCO + O ⟶ NO + CO (réaction n°7)

Le dioxyde d'azote (NO_2) est produit en quantité moindre que l'oxyde d'azote. Il est formé par le biais de la réaction :

HO_2 + NO ⟶ NO_2 + OH (réaction n°8)

La conversion de NO_2 en NO est rapide; elle est facilitée par la présence en grande quantité des espèces atomiques O et H.

NO_2 + H ⟶ NO + OH (réaction n°9)

NO_2 + O ⟶ NO + O_2 (réaction n°10)

Au-dessus de 160°C les NO_2 disparaissent pour laisser la place uniquement aux NO.

Ainsi, lors de mesures des NO_x issues des fumées de combustion des simulateurs incendie, principalement du NO sera mesuré en raison des températures de fumées comprises entre 700 et 800°C.

Les oxydes d'azote NO et NO_2 sont de puissants irritants. Leur toxicité est liée à leur solubilité dans l'eau présente à la surface des alvéoles pulmonaires. Ils provoquent une toux et des larmoiements voir même un œdème pulmonaire aigu.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant le NO et NO2:

En ppm	VSTAF 30 minutes en ppm			AEGL 30 minutes en ppm			ERPG 1 heure en ppm			IDLH
	SER	SEI	SEL	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3	
NO_2	5	50	80	0.5	15	25	1	15	30	20
NO	/	100	750	80	/	/	/	/	/	100

- **Le dioxyde de souffre : SO_2**

$$S + O2 \longrightarrow SO_2$$

Le SO_2 est un fort irritant. Sa toxicité est due à la dissolution des sulfites dans le sang. Les symptômes apparaissent notamment au niveau du système respiratoire. Cependant, il peut réagir également avec la cornée engendrant une inflammation au niveau des yeux.

Le SO_2 mesuré est dû à la présence en faible quantité (0.02%) de souffre dans le bois.

Malgré une présence faible de souffre dans le bois, il n'y aura pas de formation sulfure d'hydrogène (H_2S). En effet, ce dernier est généré par la pyrolyse de produits soufrés à haute teneur tel que le caoutchouc par exemple.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant le SO_2:

En ppm	VSTAF 30 minutes en ppm			AEGL 30 minutes en ppm			ERPG 1 heure en ppm			IDLH
	SER	SEI	SEL	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3	
SO_2	3	96	866	0.2	0.75	32	0.3	3	15	100

- Le chlorure d'Hydrogène: HCl

Le bois naturel ne contenant que très peu de chlore, l'HCl produit sera très minoritaire dans les fumées de combustion. L'HCl étant produit généralement par des combustions mettant en œuvre des matériaux plastiques tels que le PVC par exemple.

L'HCl est un fort irritant pulmonaire provoquant des toux et des gênes respiratoires ainsi que des œdèmes du poumon plusieurs heures après l'exposition initiale.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant l'HCl:

En ppm	VSTAF 30 minutes			AEGL 30 minutes			ERPG 1 heure en ppm			IDLH
	SER	SEI	SEL	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3	
HCl	/	80	470	1.8	43	210	3	20	150	50

A noter : le seuil de perception olfactif de l'HCl est de 1 ppm.

II.3.3. Les Composés Organiques Volatiles (COV : C_xH_y)

Les COV englobent toutes les espèces chimiques contenant des atomes de carbone et d'hydrogène. Des atomes d'azote, de souffre, d'oxygène, de chlore ou de fluor peuvent se substituer en partie aux 2 principaux éléments cités précédemment.

L'agence américaine de protection de l'environnement, a identifié 318 substances regroupées en grandes familles dans le tableau ci-dessous.

Les COV se forment lors de combustions incomplètes. Parmis les COV, on retrouve des hydrocarbures aromatiques à 1 cycle tels que le benzène, toluène, phenol et styrène.

Familles	Produits chimiques correspondants
Hydrocarbures aliphatiques	Alcanes : propane, hexane, butane, « -ane »... Alcènes : oléfine, dioléfine, éthylène, « -ène »... Alcynes : propyne, acéthylène, « -yne »...
Hydrocarbures aromatiques	BTEX : Benzène, toluène, xylène et leurs dérivés Naphtalènes Furanes
Hydrocarbures halogénés	Substitués chlorés : chloroforme, chlorobenzène Substitués bromés Substitués fluorés : fréons
Hydrocarbures substitués « O »	Aldéhydes : furfural, formaldéhyde, acétaldéhyde Cétones : butanone, acétone Alcools : méthanol, phénol, gaïacol, crésol, syringol Acides : formiques, acétiques, carboxyliques, isopimariques
Hydrocarbures substitués « N »	Amines, amides : éthanamine, pyridine, métyllamnine Nitriles : acrylonitrile, HCN

Ouvrage « La formation incendie » sous la direction de Thomas Rogaume

II.3.4. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les HAP font parti des COV. Ce sont des composés à 2 ou plusieurs cycles benzéniques accolés de manière linéaire, angulaire ou en grappe. Au sens strict, ils ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène. Cependant, certains HAP peuvent contenir des atomes d'oxygène, de souffre ou d'azote Les HAP se forment lors de combustions incomplètes ou lors de processus pyrolytique à haute température mettant en cause des combustibles fossiles. L'Organisation Mondiale pour la Santé propose de suivre principalement les 6 HAP suivant en raison de leur toxicité et de leurs effets cancérigènes :

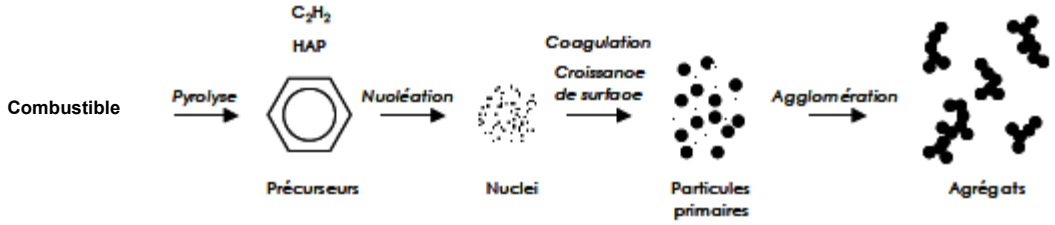
- Benzo(a)pyrène
- Fluoranthène
- Benzo(b)fluoranthène
- Benzo(k)fluoranthène
- Benzo(gh)pyralène
- Indeno(1,2,3,-cd)pyrène

II.3.5. Les goudrons

La notion de goudron regroupe l'ensemble des COV et HAP dont les vapeurs se condensent pour former un agrégat unique se fixant généralement en partie sur les parois du local en feu. De manière générale, les goudrons sont considérés comme des impuretés organiques.

II.3.6. Les suies et particules

Les particules de suie sont presque exclusivement composées de carbone (au moins 90 % en masse) et d'hydrogène. Les composés polyaromatiques formés s'agglomèrent en vésicules de carbone, qui se collent les unes aux autres. Ensuite, les particules élémentaires s'agglomèrent entre elles de manière désordonnée pour former des particules plus grosses par des liaisons de Van Der Waals.



Le processus de formation et d'évolution des agrégats de suies le plus connu est celui qui se produit dans une flamme dont les précurseurs sont les HAP et l'acétylène.
Ce processus d'agrégat des suies conduit à la formation de particules majoritairement carbonés dont la dimension varie de 1.5 nano mètre à 100 nano mètres. Leur pouvoir de pénétration dans le système respiratoire est d'autant plus important que la taille est faible.

Lorsque la température devient inférieure à 800°C, différents composants viennent s'adsorber à la surface des particules : hydrocarbures oxygénés, polyaromatiques engendrés lors de la combustion, SO2, NOx, sulfates… . Les suies se comportent comme des pièges constitués de « charbons actifs » et peuvent relarguer par désorption les composés présents à leur surface. Il est avéré que le SO2 est particulièrement bien adsorbé aux suies.

Source Josiane Roy – Professeur de chimie

Immédiatement après l'incendie, le phénomène de désorption des gaz toxiques de combustion fixés sur les matériaux solides et sur les suies est à sa vitesse maximale et diminuera avec le temps.

A l'issue des exercices en simulateur feux, cela signifie que le passage devant un ventilateur, en plus de remettre en suspension des particules, n'est pas suffisant pour garantir une non-exposition aux gaz toxiques puisque ces derniers seront relargués dans le temps par rupture des liaisons faibles.

Source Josiane Roy – Professeur de chimie

Au niveau de la littérature, il n'existe aucune valeur de toxicologie pour les suies. En effet, les suies se comportant comme un charbon actif piégeant les HAP, le rapport suies / HAP peut être très variable. Selon la durée d'exposition et la source d'émission, la concentration et la nature des HAP fixés sur les suies, seront très différentes. Par conséquent, les valeurs toxicologiques sont variables.

Le guide édité par le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), dans sa partie sur les produits cancérigènes, explique que tout produit contenant au moins 80 % de particules de carbone agrégés provenant de combustion ou de décomposition thermique de produits carbonés peut être assimilés à du noir de carbone. Les suies contiennent au moins 90 % de particules carbonés. Elles rentrent donc dans cette définition.

Nous retenons donc une similitude entre les suies et le noir de carbone.

D'après la littérature, les effets sur l'homme des particules de noir de carbone sont les suivantes :

- Effets aiguës

Les particules de noir de carbone étant faiblement solubles et peu toxiques; elles provoquent une irritation des voies respiratoires et des yeux.

- Effets chroniques

Plusieurs études épidémiologiques réalisées sur des populations importantes d'Europe et des États-Unis ont été réalisées sur différents groupes de travailleurs exposés au noir de carbone. Les résultats de ces études sont méthodologiquement discutables, en raison de l'existence de co-expositions à d'autres substances chimiques et à l'absence de prise en compte du tabagisme.

- Effets cancérigènes :

Le noir de carbone est classé depuis 2006 par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) dans le groupe 2B (agent qui peut-être cancérigène pour l'homme). Les résultats des études épidémiologiques menées à ce jour chez l'humain sont contradictoires et donc insuffisantes tandis que les données obtenus suite à des tests sur des rats sont suffisantes pour mettre en évidence un risque de développement de cancer chez l'animal.

A ces effets cancérigènes identifiés pour le noir de carbone pur, il faut cumuler les effets cancérigènes identifiés pour plusieurs HAP susceptibles de se fixer sur le noir de carbone.

Le guide établi par le NIOSH a clairement identifié la problématique d'adsorption des HAP sur le noir de carbone. Ainsi la valeur toxicologique TWA du noir de carbone passe de 3,5 $mg.m^{-3}$ à 0,1 $mg.m^{-3}$ lorsque ce dernier n'est pas pur et que des HAP sont susceptibles de s'être fixés dessus.

Les valeurs toxicologiques établies à ce jour au niveau de la littérature sont en mg/m^3. La conversion en ppm est réalisée de la manière suivante :

Dans le logiciel de modélisation des fumées FDS, la formule chimique définie pour la suie est $C_{(0.9)}H_{(0.1)}$ donnant la masse molaire de 10.9 g/mol. La fraction volumique de suies est considérée en phase gazeuse au niveau de la modélisation. La formule de conversion suivante peut donc être utilisée :

$$C\ (ppm) = [C\ (mg/m^3) \times M(g/mol)] \times \text{Volume Molaire}\ (l/mol)$$

Dans le cadre de l'étude le volume molaire a été retenu à une température de 25°C, soit 24.45 l/mol.

Synthèse des valeurs toxicologiques concernant le noir de carbone et les suies :

	VSTAF 30 minutes			AEGL 30 minutes			ERPG 1 heure en ppm			IDLH
	SER	SEI	SEL	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3	
Noir de carbone (*mg/m³*)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1750
Noir de carbone (*ppm*)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3925

	VME	TWA	TWA lorsque des HAP sont fixés sur le noir de carbone	TEEL (1 heure)			
				TEEL 0	TEEL 1	TEEL 2	TEEL 3
Noir de carbone (*mg/m³*)	3.5	3.5	0,1	3,5	10,5	17,5	500
Noir de carbone (*ppm*)	7.9	7.9	0.22	7.9	23.6	39.3	1122

II.4. L'action de la CMIC

II.4.1. La détection de toxiques par tubes et toximètres électrochimiques

Le Guide National de Référence prévoit que les CMIC soient équipés de moyens de détection des toxiques. Les moyens conventionnels sont des tubes colorimétriques pour mesure ponctuelle et des appareils de détection électrochimiques. Mis à part pour le monoxyde de carbone, les gaz recherchés dans le cadre de l'implantation ou l'exploitation des simulateurs de feu ne font pas partie des détecteurs obligatoires.

Cependant, les CMIC ont déjà largement développé leurs outils de détection sur incendie. Par conséquent, ces toxiques sont le plus souvent détectables par les sapeurs-pompiers.

En termes d'appareillage, les mesures par tube semblent inadaptées. En effet, le mode bouffée est le plus souvent incompatible avec les temps de mesures et protocoles imposés par cet outil. Les cellules électrochimiques présentent l'avantage d'avoir une réactivité en concordance avec le flux. Les seules limites à ces outils sont les phénomènes de saturation, de temps de réactivité et lecture de valeur pour le porteur.

II.4.2. La détection par PID et AP4C

Plusieurs Composés Organiques Volatiles sont détectables par les PID présents dans les CMIC. Toutefois, l'intérêt de mesure directe parait limité car il ne pourra pas identifier le gaz mesuré. Dans leur mode prélèvement, ces appareils sont utilisables.

L'intérêt du PID apparait sous condition de techniques d'analyse de prélèvement à postériori. Une limite s'impose pour les conditions de mesure. En effet, les fumées d'incendie, très chargées en suies, sont de nature à encrasser la lampe de l'appareil et le rendre inutilisable par la suite.

Pour l'AP4C, le prélèvement surfacique humide à l'aide du S4PE permet d'identifier des familles sur les parois du simulateur.

II.4.3. L'HbCO (Carboxyhémoglobine)

Certaines CMIC, dans le cadre des interventions pour détection de Monoxyde de carbone sont dotées d'appareils de mesures d'HbCO. L'intérêt reste limité lors des phases de brûlage en raison de la protection respiratoire permanente des utilisateurs. Une utilisation ou un suivi des encadrants lors de la conception et de l'utilisation des protocoles de préparation et de déblai peut être envisagé.

III. LA MODELISATION A L'AIDE DE L'OUTIL FIRE DYNAMIC SIMULATOR (F.D.S)

III.1. Le logiciel FDS développé par le NIST

L'outil de modélisation Fire Dynamic Simulator (FDS) est développé et mis à jour par le National Institut of Standards and Technology (NIST). Le NIST est un laboratoire de sciences physiques rattaché au département du commerce des Etats-Unis. FDS permet de simuler la propagation des flammes et des fumées dans des locaux. Il est toujours couplé au logiciel « smoke view » pour visualiser la propagation des phénomènes physiques.

Le modèle champ utilisé par FDS calcule en tous points de l'espace les différentes données (concentrations, températures...). Le calcul est basé sur un traitement simultané des équations de Navier-Stokes qui permettent la résolution des bilans de conservation de masse, d'énergie et de quantité de mouvement. Les phénomènes de conduction et la pyrolyse des solides sont également modélisés.

Le logiciel FDS utilise les équations de la thermique et de la mécanique des fluides appliquées aux écoulements turbulents, prenant en compte les éléments suivants :

- les propriétés de l'air et des fumées : viscosité, dilatation thermique, capacité calorifique, compressibilité,
- la turbulence de l'écoulement,
- les propriétés thermiques des constituants solides,
- les caractéristiques géométriques tridimensionnelles de l'environnement et du système de distribution d'air,
- les conditions climatiques extérieures (froid, chaud, rayonnement solaire).

Contrairement aux modèles de zone, les modèles de champ comme FDS nécessitent que la taille minimale des mailles soit supérieure au millionième de la taille du domaine, pour assurer une bonne simulation. Cependant, un compromis doit être fait entre la précision du modèle de maillage et la puissance de calcul des machines. En effet, un doublement de la densité du maillage multiplie par 16 la durée de calcul.

III.2. La modélisation

A partir des 3 campagnes d'essais réalisées les 7 et 9 juin avec l'IRIAF, l'outil de modélisation FDS a pu être mis en œuvre.

Les caractéristiques suivantes du modèle ont été retenues :

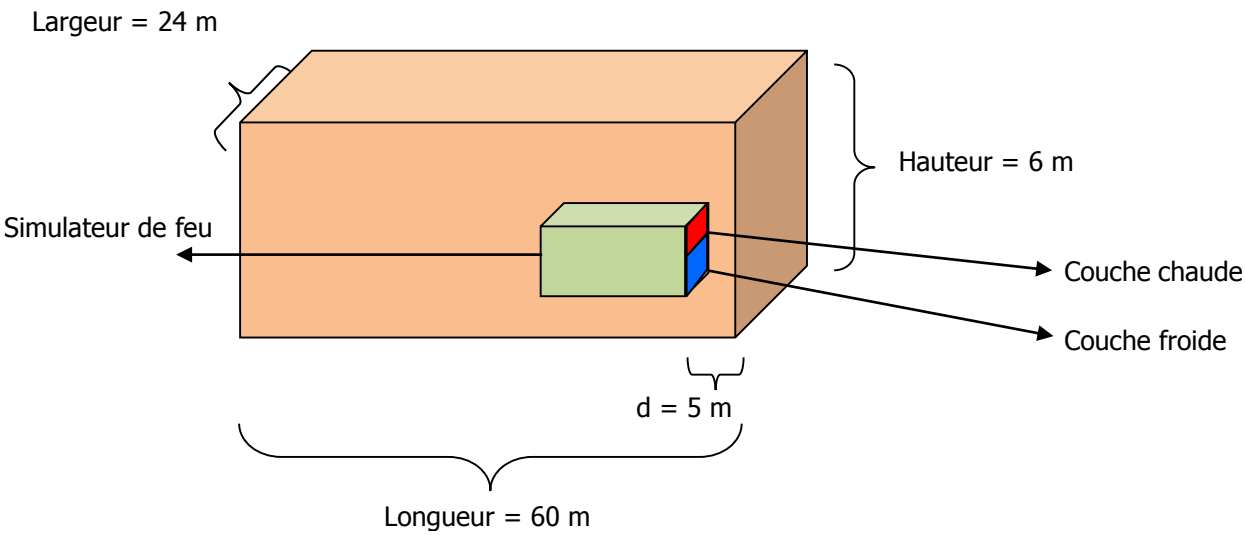
1. Modélisation sur simulateur feu techniques de lances de 20 pieds de long,
2. Charge de combustible : 300 kg de palettes,
3. Hauteur de la couche de fumée chaude : 1.40 m,
4. Hauteur de la couche de fumée froide : 1.10 m,

5. Composition retenue pour les gaz chauds,

Composition de gaz chauds (% volumique)								
CO_2	CO	NO_x	SO_2	CH_4	Suies	H_20	N_2	O_2
16	1	0.014	0.08	0.5	3.6	16.7	52.106	10

**Débit suie 0.1kg/ kg bois*

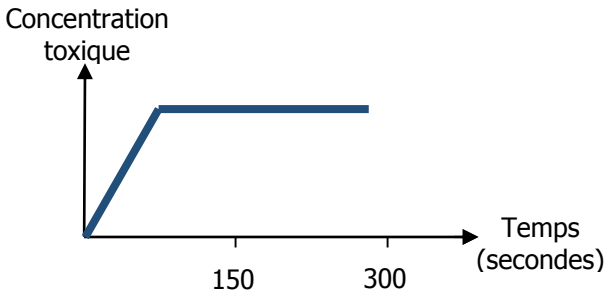
6. Hauteur de mesure de la concentration en toxique : 1,80 mètre,
7. Température de la couche de fumée chaude : 300 °C,
8. Température ambiante : 23 °C,
9. Hygrométrie ambiante : 40 %,
10. Vitesse d'air dans la couche de fumée chaude : 2 $m.s^{-1}$,
11. Vitesse d'air dans la couche de fumée froide : 1.37 $m.s^{-1}$,
12. Densité des gaz dans la couche de fumée chaude : 0.7 $kg.m^{-3}$,
13. Densité des gaz dans la couche de fumée froide : 1.18 $kg.m^{-3}$,
14. Dimension du champ d'étude :



La dimension de la maille de calcul du champ est 20cm x 20cm x 20 cm. Le choix de la dimension du champ associé à la taille de la maille, nécessite 4 à 6 heures de calculs par modèle mathématique choisi.

15. Durée de la modélisation : 5 minutes / 300 secondes

L'évolution de la concentration en fonction du temps se fait selon le schéma ci-contre. Dans un premier temps nous observons une hausse très rapide de la concentration en toxiques. Celle-ci se stabilise ensuite à une valeur donnée.



La concentration retenue pour la modélisation est donc la concentration maximale mesurée au bout d'un temps donné.

III.3. Développement des outils à partir des modélisations réalisées

L'outil proposé est un abaque permettant de dimensionner les périmètres de toxicités des fumées en fonction de l'implantation du simulateur.

III.3.1. Composés retenus pour la modélisation

Dans le modèle de champ choisi, nous avons retenu les composés principaux suivants :

- CO,
- NOx,
- SO_2,
- Suie.

Les caractéristiques physico-chimiques des 4 composés retenus influent sur la combustion et l'écoulement des gaz.

Concernant les hydrocarbures et pour le CO2 aucun outil toxicologique n'a été réalisé. Ceci en l'absence de valeurs pour les hydrocarbures. Pour le CO2, la diffusion dans un milieu ouvert comme celui de l'étude rend impossible le risque d'anoxie, en raison de la dilution qui s'opère. Les acides chlorhydrique et cyanhydrique ne peuvent pas être modélisés car l'appareillage mis en place pour quantifier les gaz et fumées sortant du simulateur ne disposait pas de capteurs adaptés.

III.3.2. Valeurs toxicologiques retenues

La durée d'un brûlage sur simulateur de feu est de l'ordre de 30 minutes. Par conséquent, nous avons retenu des valeurs toxicologiques de même durée pour une intoxication aiguë. D'autre part, nous avons identifié que le mode de transfert était un mode bouffée, répété sur ces 30 minutes. Par conséquent, la comparaison des données modélisées avec ces valeurs seront maximalistes.

De plus, notre étude étant préventive, nous nous orientons vers la prise en compte de valeurs toxicologiques avec des effets réversibles. Comme lors d'une action opérationnelle, pour choisir la valeur bibliographique de référence, nous avons utilisé l'arbre décisionnel suivant :

- VSTAF (Valeur Seuil Toxicité Aiguë Française)
- AEGL (Acute Exposure Guideline Level)
- ERPG (Emergency Response Planification Guidelines)
- TEEL (Temporary Exposure Emergency Limits)

Nous ne prenons pas en compte l'IDLH (Immédiatly Dangerous for Life and Health) en raison des effets graves et permanents à long terme pouvant impacter la santé.

Les valeurs toxicologiques de référence établie pour le code du travail (Valeur Moyenne d'Exposition, et Valeur Limite d'Exposition) n'ont pas été retenues pour la construction de l'outil. En effet, l'ensemble des intervenants et stagiaires interviennent sous ARI et les simulateurs de feux doivent être positionnés pour éviter les expositions chroniques du voisinage aux toxiques. Néanmoins, des expositions accidentelles pourraient avoir lieu en raison des conditions météorologiques. C'est pourquoi, les outils ont été construits en se basant sur les valeurs toxicologiques utilisées en condition accidentelle.

Pour le dioxyde de souffre, nous avons retenus l'AEGL1-30 soit 0.2 ppm.

Pour les NOx, la production majoritaire de toxique concerne le NO. Cependant au niveau des VSTAF, il n'existe aucun SER (seuil des effets réversibles) pour le NO alors que pour le NO_2, un SER à 5 ppm est donné. Sachant que la toxicité du NO_2 est supérieure à celle du NO. Notre outil sera majorant pour ce gaz.

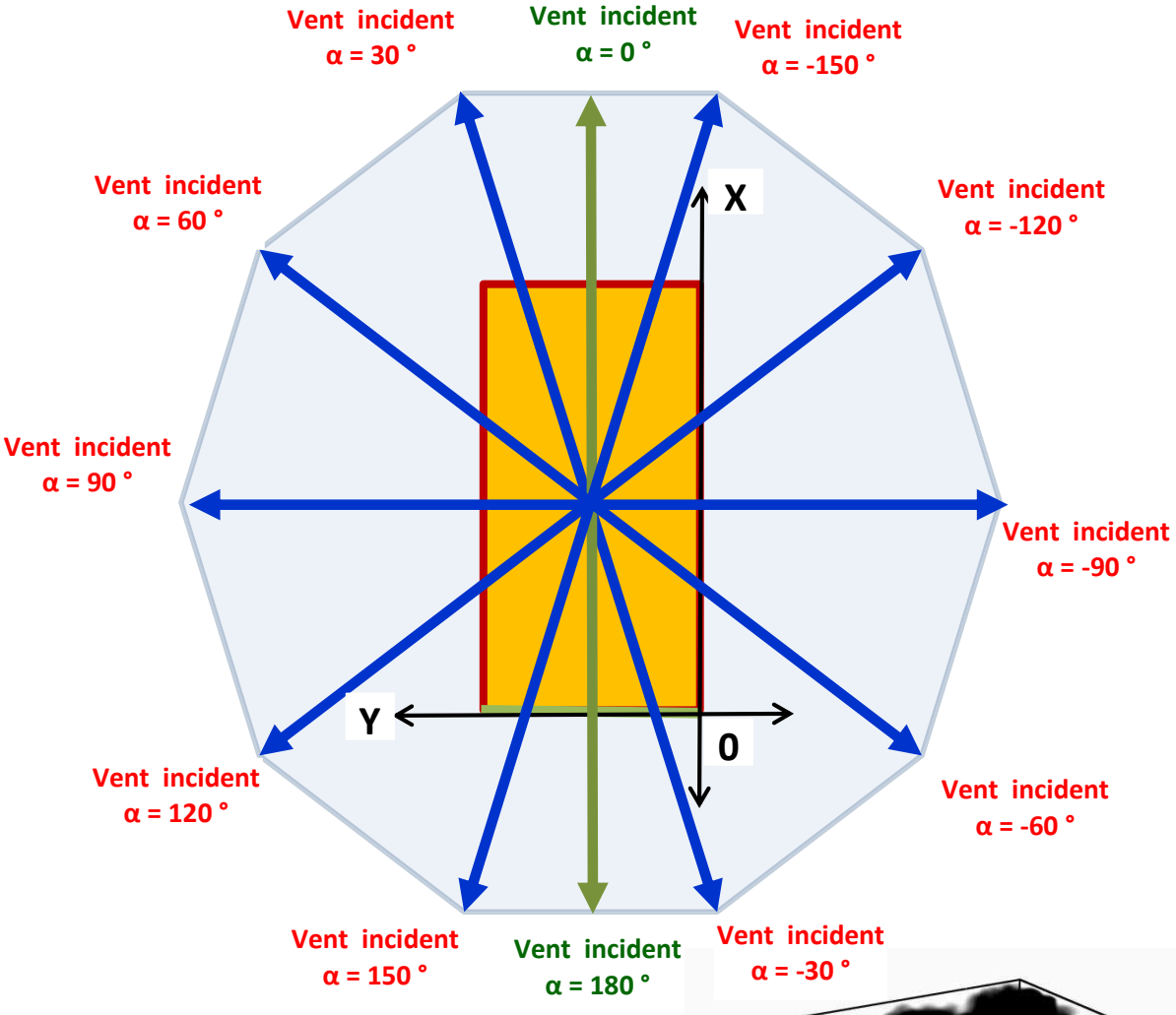
Pour le monoxyde de carbone, il n'existe pas de SER, ni d'AEGL1. Par conséquent nous retenons la valeur d'ERPG1-1h fixé à 200 ppm.

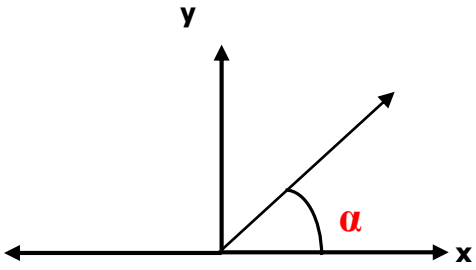
Pour les suies, comme expliqué précédemment, nous nous basons sur les valeurs liées au Noir de Carbone. Hormis pour les TEEL basées sur une exposition d'une heure, aucune autre valeur n'existe. Par conséquent, nous retenons la TEEL1 fixée à 23.6 ppm dans les conditions de l'étude (25°C).

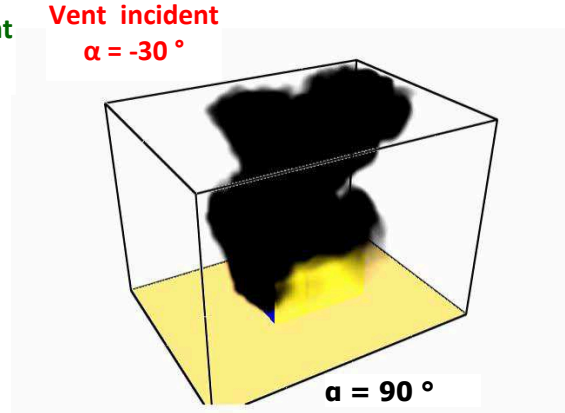
III.3.3. Angles d'incidence du vent sur le simulateur de feu

La direction du vent influe systématiquement sur le développement du foyer. Selon les cas, on peut donc rencontrer des feux sur ou sous ventilés engendrant une combustion plus ou moins complète. Le débit des toxiques produits sont directement impactés par le régime de combustion.

Pour cela il a été décidé de retenir dans un plan orthonormé en deux dimension les angles incidents de : 0°, 30°; 60 ; 90; 120°; 150° et 180°. Par symétrie nous en déduisons les concentrations pour les angles opposés : -30°; -60 ; -90; -120°; -150°







III.3.4. Les vitesses du vent

La vitesse du vent fera varier la diffusion et le transfert du panache.

Les vitesses de vent suivantes ont été retenues : 0, 5, 10 et 20 m.s^{-1}. Par conséquent, nous aurons donc les concentrations de gaz pour 7 directions incidentes du vent et pour 4 vitesses différentes.

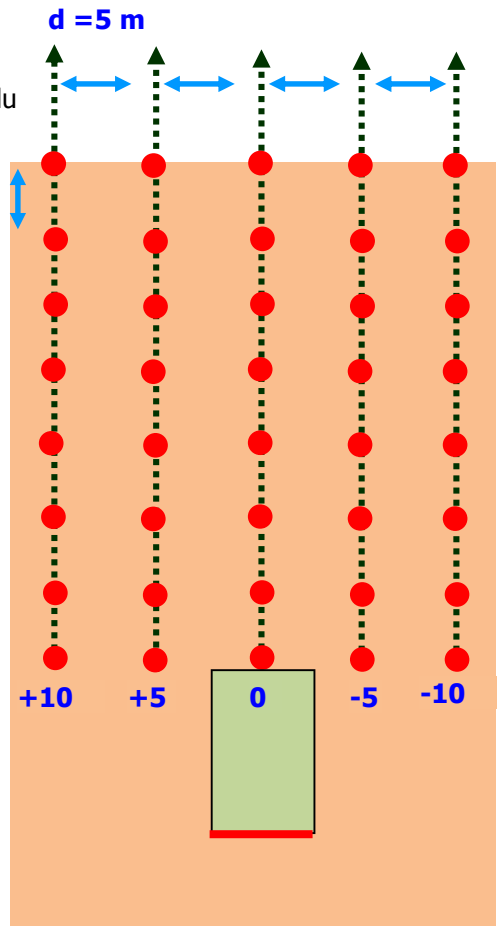
III.3.5. Lignes de mesure

5 lignes de mesures parallèles au champ d'étude ont été définies. La ligne 0 étant l'axe principal par rapport au foyer.

Ces lignes sont espacées de 5 m et disposent d'un point de mesure tous les 5 m, à 1m80 de hauteur.

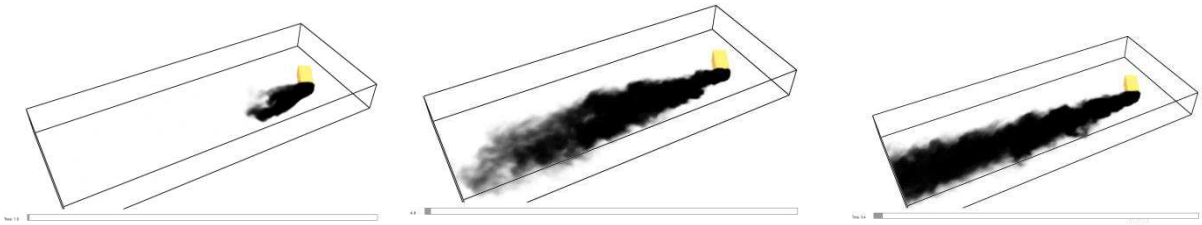
Un maillage toxicologique est donc ainsi constitué. Cet espacement nous permet de créer des abaques d'évolution de la concentration des gaz en fonction de la distance pour un angle et un vent donné.

Ceci a généré au total 22 simulations de calculs d'une durée de 4h à 6h chacune, afin de prendre en compte les variations de facteurs souhaitées.

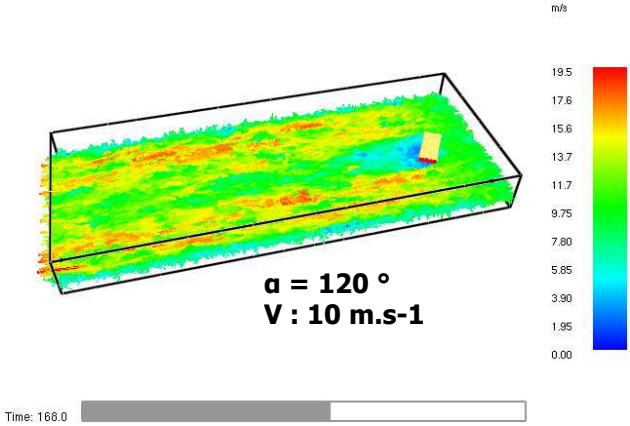


III.4. Exemple de modélisation.

Les 3 exemples d'émission de fumées ci-dessous, ont été réalisés à l'aide du logiciel smoke-view pour un angle incident de vent de 120° et pour une vitesse de vent de 10 m.s^{-1}. Smoke-view est un logiciel permettant de retranscrire visuellement les calculs de concentrations générés par Fire Dynamic Simulator en fonction du temps.



Smoke-view permet également de présenter une simulation des vecteurs vitesses de l'air en prenant en compte les turbulences générées autour du simulateur feu.
Il est intéressant de noter qu'à 5 mètres sous le vent, juste derrière le caisson, les vitesses d'écoulement du vent sont généralement faibles ou nulles (couleur bleu foncé). Cela vient corroborer l'absence de détection dans ces conditions à l'aide de cellules électrochimiques.



III.5. Analyse des modélisations

Les modélisations nous permettent de mettre en évidence que :

- La proximité d'une personne par rapport au simulateur n'engendre pas nécessairement une exposition plus élevée aux toxiques. En effet, les zones de turbulence générées sous le vent, à proximité du simulateur (0 à 5 mètres), ont pour conséquence de limiter les mouvements d'air dans ces zones. Les concentrations pourront donc y être plus faibles que pour des mesures plus éloignées.
- La vitesse du vent influe directement la diffusion. En effet, plus la vitesse du vent sera élevée et plus l'atmosphère sera considérée comme instable. En conséquence, la concentration du toxique baisse avec l'augmentation de la vitesse du vent.
- L'orientation du vent influe fortement sur le régime de turbulence à l'intérieur du simulateur. Le régime de la combustion est modifié par un apport d'air plus ou moins important. Cette combustion plus ou moins complète a un impact sur la quantité et le débit de toxiques émis.
- Les concentrations de toxiques sont relevées essentiellement sur les lignes de mesures -5 m, 0 m et +5 m. Cela signifie que l'on a une diffusion qui se fera sous la forme d'un cône ayant une largeur au maximum de 20 mètres à 55 mètres du point de diffusion.

En complément des effets de convection due à la température d'émission des gaz, il semble que la densité des gaz, par rapport à l'air, influe fortement les retombées de ces derniers à distance par rapport au simulateur feu. Cela se vérifie dans la modélisation avec les concentrations relevées pour les gaz ayant une densité nettement supérieure à 1 :

- Les concentrations en NO_x (densité N0 = 1.03 ; densité $N0_2$= 1.58) n'atteignent jamais la valeur toxicologique retenue quelque soit la vitesse et l'angle incident du vent sur le simulateur de feu.
- Les concentrations en CO (densité C0 = 0,96) atteignent la valeur toxicologique retenue uniquement dans quelques cas précis.
- Les concentrations en SO_2 (densité $S0_2$ = 2.3) et en suies (densité Suies >> 1) atteignent régulièrement les valeurs toxicologiques retenues.

Les modélisations réalisées n'ont pas pu être utilisées pour mesurer les concentrations en différents points du champ d'étude de l'acide cyanhydrique et de l'acide chlorhydrique. Il conviendra néanmoins de vérifier ponctuellement dans les zones d'exclusion identifiées l'absence de ces composés à une concentration supérieure aux valeurs toxicologiques de référence.

Les caractéristiques du modèle choisi permettent pour chaque toxique de connaître les débits massiques émis dans l'environnement. Ces débits massiques calculés sont des valeurs maximales ponctuelles calculées au plus fort développement du foyer. Elles ne correspondent pas à un débit continu émis pendant toute la durée du brûlage.

Calcul du débit global de gaz :

- Surface d'émission de gaz : 1.40 mètre x 2.43 mètres = 3,4 m^2
- Vitesse d'air dans les fumées : 2 m.s-1
- Débit global de gaz émis : Surface * débit = 6,8 $m^3.s^{-1}$

	Débit volumique global des fumées (Q en $m^3.s^{-1}$)	% des gaz retenus dans les fumées	Débit volumique de chaque gaz (Q en $m^3.s^{-1}$)	Masse molaire du gaz (M en $g.mol^{-1}$)	Température de sortie des fumées (T en degré kelvin)	Masse volumique du gaz : ρ gaz = 12 x M / T ρ gaz en $kg.m^{-3}$	**Débits massique de chaque gaz en** Q ($kg.s^{-1}$) = Q ($m^3.s^{-1}$) x ρ gaz
SO_2	6,8	0,08	$5,44 \times 10^{-3}$	64	573	1,34	**$7,28 \times 10^{-3}$**
NO_x		0,014	$1,224 \times 10^{-3}$	30		0,63	**$7,71 \times 10^{-4}$**
Suies		3,6	0.2448	12		0,25	**$6,12 \times 10^{-2}$**
CO		1	0.068	28		0,59	**4×10^{-2}**

- La modélisation a été réalisée pour un simulateur feu technique de lances de 20 pieds de long avec une charge de 300 kg de bois. Les résultats modélisés pourront être étendus également aux simulateurs « technique de lances » de 40 pieds de long ainsi qu'aux simulateurs flashover. En effet, les réseaux de mesure effectués sur le terrain pour chaque cas sont similaires.

III.6. Recommandations

Suite à l'étude menée sur les fumées et gaz de combustion émis par les simulateurs feu, les préconisations suivantes peuvent être faites :

- Achat et conception de simulateurs de feu avec captage et lavage des fumées (photo ci-contre, photo SULITEC).

- Le re-chargement des simulateurs feux en palettes, à la suite d'un premier exercice, sera réalisé sous Appareil Respiratoire Isolant afin de se protéger de l'exposition au monoxyde de carbone ainsi qu'aux matières mises en suspension,
- A la fin des exercices, ne pas réaliser de déblai et laisser le bois se consumer puis attendre la ventilation totale avant d'y pénétrer. Cela limite l'exposition du personnel aux gaz de combustion et permet d'éviter des manutentions, sous protection respiratoire, longues et fastidieuses des imbrûlés,
- Le nettoyage des simulateurs feux sera réalisé à l'aide d'Appareil Respiratoire Isolant,
- Supprimer les passages du personnel en tenue de feu devant un ventilateur pour retirer les particules. Cela entraîne une remise en suspension de poussières dans la zone et une exposition du porteur de la tenue et de l'ensemble du personnel situé à proximité.
- Réaliser les debriefings suite aux exercices après avoir retiré les EPI. Cela évitera d'exposer le personnel aux produits chimiques qui se désorbent.

Ces pratiques sont transposables aux situations post-opérationnelles :

- Conserver les protections respiratoire jusqu'à absence de risque, et cela au-delà d'un simple contrôle de la concentration en monoxyde de carbone,
- Lors des retours d'intervention pour feu, stocker les tenues de feu dans les coffres des véhicules plutôt que dans la cabine,
- Au retour en Centre de Secours, laisser les tenues de feu désorber dans un milieu non exposé et ventilé de préférence. Seulement après cette étape, les tenues de feu pourront être stockées dans un vestiaire.

CONCLUSION

Outil pédagogique largement développé, les simulateurs de feu sont le plus souvent considérés comme de simples feux de bois, sans risque particulier en termes de toxicité. Notre étude a permis de démontrer que de nombreux composés chimiques toxiques sont émis, au-delà des seuils toxicologiques de référence.

L'outil proposé a pour intérêt de fournir à un conseiller technique départemental les éléments d'analyse dans le cadre d'un conseil à l'implantation. Il est mis en évidence que les variations d'orientation et de vitesse du vent influencent de manière importante l'impact sur les cibles. Ainsi il sera possible d'évaluer les conséquences prévisibles pour des sites à proximité ou installations voisines.

Ces abaques établis se veulent aussi être une aide à l'utilisation d'un simulateur de feu. La protection des utilisateurs semble assurée lors de la phase de brûlage notamment par le port de l'appareil respiratoire isolant. Toutefois, les modes opératoires utilisés lors des phases préparatoires et post-brûlage peuvent évoluer en termes de protection ou de temps d'exposition. L'utilisation d'une protection respiratoire adaptée est à envisager pour charger un simulateur ayant été utilisé précédemment. Laisser se consumer un foyer et attendre la ventilation totale du simulateur avant d'y pénétrer, serait une autre pratique préventive.

Pour les simulateurs déjà implantés, ceci permettra d'identifier le périmètre de danger dans lequel aucune présence humaine ne sera autorisée.

Dans le cadre de cette étude, le champ n'ayant pas été approfondi est la quantification de la désorption des tenues de feu textiles, autre vecteur de transfert de polluants. Il conviendra donc de mettre en œuvre certaines précautions après une action formative avec ces EPI. Les pratiques actuelles de ventilation des tenues sont discutables car elles sont susceptibles d'exposer les intervenants aux composés remis en suspension. Le retrait des EPI textiles doit se faire dès que possible, pour permettre une désorption dans un milieu non exposé. En tout état de cause, une analyse précise des polluants adsorbés par les EPI, par une étude scientifique, permettrait de définir le niveau de risque réel et d'y associer les mesures préventives adaptées.

L'ensemble de ces problématiques sont transposables aux pratiques post-opérationnelles sur des feux urbains ou naturels, notamment lors de déblais ou noyages. Ceci étant aggravé par la nature des combustibles générant des composés toxiques en plus grande quantité.

BIBLIOGRAPHIE - WEBOGRAPHIE

Fabienne Scandela (2012) - " la santé et la sécurité des hommes du feu » édition FSEP / ETUI" – ISBN N°978-2-87452-217-8

Juha Laittinien, Mauri Mäkela, Journi Mikkola, Ismo Huttu – "L'exposition des formateurs incendie dans les simulateurs".

James A Miller and carl F. melius – "The formation of benzene in flames" / Sandia national Laboratories Livermore, CA 94551-0969.

Décret n°2015-1438 du 5 novembre 2015 relatif aux modalités du suivi médical post-professionnel des agents de la fonction publique territoriale exposés à une substance cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction.

INERIS – (2005) – Rapport d'étude N°57149 - Ω 16 – "Toxicité et dispersion des fumées d'incendie. Phénoménologie et modélisation des effets"

INERIS – (2005) – Rapport d'étude N° 66244-DESP-R01 "Hydrocarbures Aromatiques Polyciclique, guide méthodologique – Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines".

INERIS - Eva LEOZ-GARZIANDIA (2000) – "Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'air ambiant (HAP)".

INERIS – (2005) – Serge Collet "Facteur d'émission – Emission de dioxines, de furanes et d'autres polluants liées à la combustion de bois naturels et adjuvantés".

SDIS 91 – IUT HSE – Université de Bordeaux – Jean-Marie Chalumeau (2010) – Rapport de stage "L'hygiène et la sécurité au travail pour les agents liés à la formation en caisson flash-Over".

Eric Guillaume – LNE – Document LNE : G020284 / C672X01 / CEMATE/1 "effets du feu sur les personnes".

Eric Guillaume – LNE – Document LNE G020284 / C672X01 / CEMATE/2 " Les outils de l'ingénierie de la sécurité incendie".

Eric Guillaume (2012) – Dossier Techniques de l'Ingénieur - se2060 – "Toxicité des fumées d'incendie".

Eric Guillaume (2012) – Dossier Techniques de l'Ingénieur - se2064 – "Modélisation de l'incendie - Outils de modélisation numériques du développement du feu"

Normes Internationales pour les Mesures Phytosanitaires - NIMP n° 15 : "réglementation des matériaux d'emballage en bois utilisés dans le commerce international (2009)".

Fédération Nationale du Bois / Syndicat de l'Industrie et des Services de la Palette (SYPAL) – "La palette bois enfonce le clou" (2016) – ISBN N°2-9521767-0-1.

Règlement de l'Union Européenne N° 1005/2009 du 16/09/09 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone.

Etude de la prise en compte de la toxicité des fumées en cas d'incendie – Groupe de travail du comité d'études et Classification des Matériaux vis-à vis de l'incendie (2010) (LNE, LCPP, Préfecture de Police, Effectis, SNPE, WSP, FCBA, GPIC, PlasticsEurope, UPB)

Nation Unies – "Transport de Matière Dangereuse – Partie 3 : Dangers pour la santé" (2009).
Rapport sur l'évaluation de l'impact sanitaire des exercices incendie réalisés sur la plateforme de Cherbourg de la marine nationale. – (juin 2010) – Groupe Radioécologie Nord Cotentin.

Alexandre Lacoste stagiaire Master SET MAEVA en 2ème année au Bataillon des Marins Pompiers de Marseille – "Evaluation des risques de l'exposition des sapeurs-pompiers aux fumées d'incendie".

Jean-Pierre SAWERYSYN (2012) revue Air pur n°81 "La combustion du bois et ses impacts sur la qualité de l'air".

Sous la direction de Thomas Rogaume – "La formation incendie" (2016) – Edition Carlo Zaglia – ISBN : 979-10918-1124-8

Michel Curtat (2009) – "Tome 3 - Physique du feu pour l'ingénieur" – Document du CSTB – ISBN : 2-86891-305-9.

John Wiley & sons (2005) – "An introduction to fire dynamics" ISBN : 9 78047 972914

J.-F. PAUWELS - K. MARSCHALLEK, L. GASNOT - (2007) / "Les Technologies de recombustion avancée des oxydes d'azote - Analyse de flammes prémélangées méthane / monoxyde d'azote / ammoniac / air : expérience, modélisation, application à la réduction des oxydes d'azote".

Mathieu SUZANNE – 2009 - Thèse " Conditions d'utilisation de modèles numériques pour l'évaluation de scénarios de départ de feu dans un cadre d'investigation post-incendie". Thèse pour le compte du laboratoire CORIA de l'INSA Rouen, du LCPP et la Préfecture de Police.

Damien HEBERT – 2012 - Thèse portant sur l' "Etude de la combustion des matériaux solides, application à la sécurité incendie. Laboratoire d'accueil CORIA Rouen.

Mathieu MAUGENDRE – 2009 – Thèse portant sur l' "Etude des particules de suie dans les flammes de kérosène et de diester". INSA Rouen.

Josianne ROY – 2015- "Toxicité d'une scène après l'incendie".

TF197 de l'Institut Nationale de Recherche et de Sécurité – Document pour le médecin du travail « intoxications cyanhydriques professionnelles des pompiers : mythes ou réalité »

« Emissions des moteurs diesel : Nouveau classement par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) » - SNCF DRH EPIC – Prévention et Santé- Cellule de Toxicologie – mars 2013

www.gdrfeux.univ-lorraine.fr – groupe de recherche dans le domaine feu

http://www.cnesst.gouv.qc.ca – Commission des Normes, de l'Equité de la Santé et de la Sécurité au Travail au Québec

www.inrs.fr

www.ineris.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 : Protocoles de mesures mis en place et résultats

ANNEXE 2 : Outil de zonage toxicologique SO_2

ANNEXE 3 : Outil de zonage toxicologique NOx

ANNEXE 4 : Outil de zonage toxicologique CO

ANNEXE 5 : Outil de zonage toxicologique suies

ANNEXE 6 : Convention IRIAF / ISAE ENSMA / CNRS / laboratoire Pprime / SDIS 79

ANNEXE 1

Protocoles de mesures mis en place et résultats

30/05/16 - MESURES TOXICOLOGIQUES SUR SIMULATEUR DE FEU

CESSION 1 / SDIS76 Tourville la Rivière

Objectif des essais : identifier les gaz de combustion sur simulateurs de feu à l'occasion de feu sur simulateurs flashover et techniques de lances.

DESCRIPTION DES MANIPULATIONS

Deux types de brûlages sont réalisés sur les simulateurs de feux réels :

- Le simulateur flashover est un caisson d'observation et d'engagement mais sur feux limités par le comburant ou la ventilation.
- Le simulateur techniques de lances est un caisson d'observation et d'attaque mais sur un feu limité par le combustible.

Sur ces installations le terme source est différent :

- simulateur flashover, des panneaux d'agglomérés sont brûlés,
- simulateur techniques de lances, il s'agit de palettes de bois (25) et d'un morceau de polyuréthane.

Nous identifions 5 phases de mesures :

- 1. Mise en place (témoin)
- 2. Allumage
- 3. Plein développement
- 4. Fin d'exercice
- 5. Déblai

Une fois les exercices réalisés, les tenues des utilisateurs sont entreposés dans un local pour ventilation.

MESURES ET PRELEVEMENTS REALISES

Gaz mesurés à l'aide de cellules électrochimiques de la CMIC76 :

CO, HCN, NOX, HCl lors des brûlages et dans le local de ventilation des tenues

Gaz mesuré à l'aide de tubes à diffusions de la CMIC76 :

CO dans le local de ventilation des tenues.

Prélèvements effectués :

PID et pompe de prélèvement MSA pour mise à l'étude à des échantillons par chromatographie à l'INSA de Rouen. Réalisation de deux prélèvements par brûlage, un par tube, un par sac.

AP4C avec S4PE sur parois internes du simulateur.

Suivi des intervenants :

Mesure HbCO.

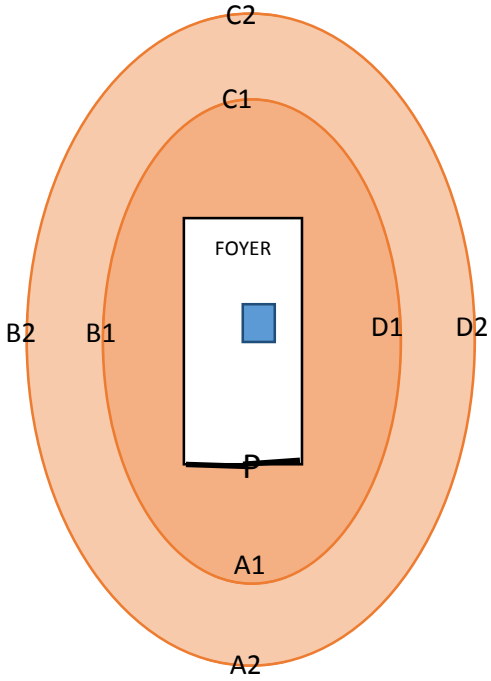
Seine
Zone des simulateurs
D7
Rue Claude Debussy
Rue Claude Debussy
D7
D7
D13
Jean Jaurès
D7

PROTOCOLE 1	**Simulateur flashover**
Terme Source	½ palette de bois (12 kg), 12 m² de panneaux de bois d'agglomérés (18 mm d'épaisseur) (96 kg)
Flux	Gazeux par les fumées d'incendie
Cibles	Stagiaires et formateurs à l'intérieur et l'extérieur de la structure Riverains au site de formation
Descriptif et déroulement des mesures	Réalisation de mesures aux points identifiés à chacune des phases.

Points de mesures :

Rayon 1 : 5m autour des parois du simulateur
Rayon 2 : 8m autour des parois du simulateur
P : Point de prélèvement des fumées
HbCO sur les formateurs
Présence d'une cheminée en partie haute

Vue intérieur du simulateur flashover



	CO	HCL	HCN	NO2	NH3	HbCO	Prélèvements
Phase 1 – mise en place (témoin)	x	x	x	x	x	x	AP4C
Phase 2 - allumage	x	x	x	x	x		
Phase 3 – plein développement	x	x	x	x	x		Tube et ballon
Phase 4 – fin d'exercice	x	x	x	x	x		
Phase 5 - déblai	x	x	x	x	x	x	AP4C

Mesures HbCO (%) – Protocole 1 – brûlage *Type 1*

	Fumeur	Pré brûlage	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1		0	9h30	0	11h00
Formateur 2	x	9	9h30	4.5	11h00
Formateur 3		0	9h30	0	11h00
Formateur 4		0	9h30	0	11h00

RELEVE DE MESURE – BRULAGE SIMULATEUR FLASHOVER – 30/05/2016 – GH : 10h30/11h30

Relevé Co dans le caisson avant brûlage : 0 ppm

Relevés de mesures – CO (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	30	10	50	0	0	0	0	0
Phase 4	40	0	6	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – NO2 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0.4	0
Relevés de mesures – HCL (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	6	6	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – HCN (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	8	6	10	1.5	1.5	0	0	0
Phase 4	0.5	0	1	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – NH3 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – SO2 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0

PROTOCOLE DE MESURES

LOCAL	Valeurs lues (ppm)				Groupe Horaire
	CO	NOx	HCL	HCN	
Local avant entreposage	0	0	0	0	12h05
Local après entreposage	0	0	0	0	14h05
	CO - Valeur lue (ppm)			Temps de mesure	
Tube à diffusion	0			2h	

Relevés AP4C sur parois intérieure avec S4PE		Avant brûlage					Après brûlage				
		P	HNO	CH	As	S	P	HNO	CH	As	S
	5			-					-		
	4										
	3										
	2										
	1	-	-		-	-				-	-

Conditions de mesure		Observations
Orientation du caisson	Portes au Sud-Ouest	Prélèvement par tube : FAIT Prélèvement par sac : FAIT
Vent (vitesse et orientation)	2 m.s^{-1} ; Vent de nord / nord-ouest	
Climat	Temps couvert, sans précipitation	

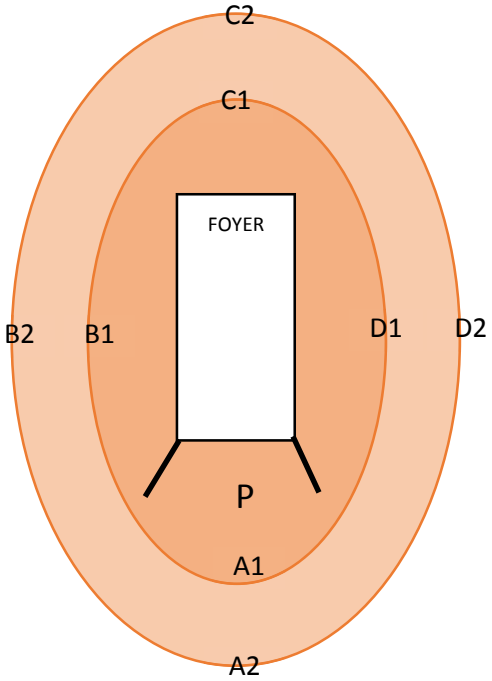
PROTOCOLE 2	**Simulateur techniques de lances**
Terme Source	25 palettes de bois (300k g), morceaux de mousse (polyuréthane).
Flux	Gazeux par les fumées d'incendie
Cibles	Stagiaires et formateurs à l'intérieur et l'extérieur de la structure Riverains au site de formation
Descriptif et déroulement des mesures	Réalisation de mesures aux points identifiés à chacune des phases.

Points de mesures

Rayon 1 : 5m autour des parois du simulateur

Rayon 2 : 8m autour des parois du simulateur
P : Point de prélèvement des fumées
HbCO sur les formateurs

Simulateur technique de lance 40 pieds



	CO	HCL	HCN	NO2	NH3	HbCO	Prélèvements
Phase 1 – mise en place (témoin)	x	x	x	x	x	x	AP4C
Phase 2 - allumage	x	x	x	x	x		
Phase 3 – plein développement	x	x	x	x	x		Tube et ballon
Phase 4 – fin d'exercice	x	x	x	x	x		
Phase 5 - déblai	x	x	x	x	x	x	AP4C

Mesures HbCO (%) – Protocole 2 – brûlage *en simulateur flashover*

	Fumeur	Pré brûlage	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1		1.4	9h30	3.2	11h00
Formateur 2	x	10.2	9h30	8.6	11h00
Formateur 3		1	9h30	3	11h00
Formateur 4		0	9h30	0	11h00

Commentaire : Mesure CO dans le caisson lors du chargement des palettes : 30 ppm

RELEVE DE MESURE – BRULAGE SIMULATEUR TECHNIQUES DE LANCES – 30/05/2016 - GH : 14h30 – 16h.

Relevé Co dans le caisson avant brûlage : 30 ppm

Relevés de mesures – CO (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	50	16	15	0	0	0	12	0
Phase 4	40	8	0	0	0	0	0	0
Phase 5	31	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – NO2 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0.8	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – HCL (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – HCN (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	2.5	0	6	4	0	0	0	0
Phase 3	3	0	2.5	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – NH3 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – SO2 (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0

Relevés AP4C sur parois intérieure avec S4PE		Avant brûlage					Après brûlage				
		P	HNO	CH	As	S	P	HNO	CH	As	S
	5			-					-		
	4										
	3										
	2										
	1	-			-	-	-			-	

Conditions de mesure		Observations
Orientation du caisson	Portes au Sud-Ouest	Prélèvement par tube : Fait Prélèvement par sac : échec. Mise en sécurité du PID
Vent (vitesse et orientation)	4 $m.s^{-1}$; Vent de nord / nord-ouest	
Climat	Temps couvert, faibles précipitations	

07/06/16 - MESURES TOXICOLOGIQUES SUR SIMULATEUR DE FEU

CESSION 2 / SDIS79

Objectif des essais : mesurer les gaz de combustion sur simulateurs de feu à l'occasion de brûlage sur simulateur techniques de lances.

DESCRIPTION DES MANIPULATIONS

Un type de brûlages sera réalisé sur un simulateur de feux réels : le simulateur techniques de lances est un caisson d'observation et d'attaque mais sur un feu limité par le combustible Le terme source, est constitué de 25 palettes (300 kg) et de mousse (polyuréthane).

Nous identifions 5 phases de mesures :

- 1. Mise en place (témoin)
- 2. Allumage
- 3. Plein développement
- 4. Fin d'exercice
- 5. Déblai

Une fois les exercices réalisés, les tenues des utilisateurs sont entreposés dans un local pour ventilation.

MESURES ET PRELEVEMENTS REALISES

- **Gaz mesurés à l'aide de cellules électrochimiques de la CMIC 76 et 79 :**

CO, HCN, NOX, HCl lors des brûlages, à 50m sous le vent et dans le local de ventilation des tenues.

- **Prélèvements effectués :**

  - Prélèvement et analyse en continu des gaz suivants CO, CO2, NO, NOx (NO2 + NO), O2, SO2 au moyen de l'appareil portatif Horiba couplé au logiciel PG250 :
    - Analyseur de NOx par chimiluminescence
    - Analyseur d'O2 paramagnétique
    - Analyseur de CO et SO2 par infrarouges
    - Analyseur de CO2 pyroélectrique

  - Prélèvement à l'aide de bouteilles des gaz de combustion pour analyses à l'aide d'un Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier

ZONE DU CAISSON

PROTOCOLE 3	**Simulateur techniques de lances**
Terme Source	25 palettes de bois (300k g), morceaux de mousse (polyuréthane) pour l'allumage.
Flux	Gazeux par les fumées d'incendie
Cibles	Stagiaires et formateurs à l'intérieur et l'extérieur de la structure Riverains au site de formation
Descriptif et déroulement des mesures	Réalisation de mesures aux points identifiés à chacune des phases.

Points de mesures

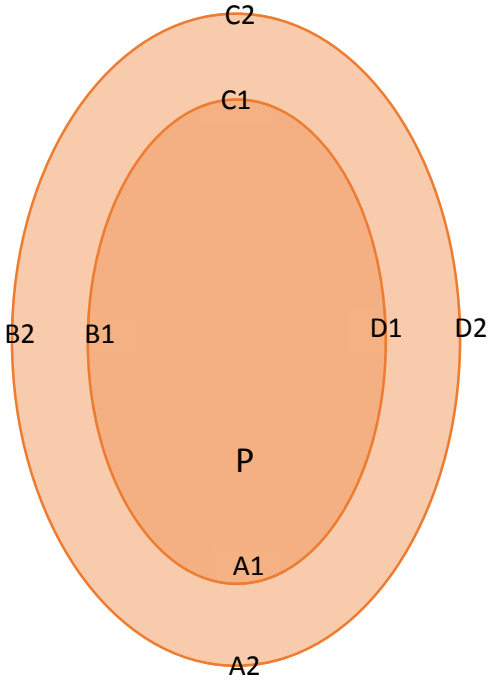
Rayon 1 : 5m autour des parois du simulateur

.

Rayon 2 : 8m autour des parois du simulateur

P : Point de prélèvement des fumées

Appareillage du simulateur avec les sondes et bonbonnes de prélèvement



	CO	HCL	HCN	NOx	HbCO	Prélèvement
Phase 1 – mise en place (témoin)	x	x	x	x		
Phase 2 - allumage	x	x	x	x		
Phase 3 – plein développement	x	x	x	x		x
Phase 4 – fin d'exercice	x	x	x	x		
Phase 5 - déblai	x	x	x	x		

RELEVE DE MESURE – BRULAGE SIMULATEUR TECHNIQUE DE LANCES avec des cellules électrochimiques de la CMIC–

07/06/2016 - GH : 14h30-15h45

Relevé Co dans le caisson avant brûlage : 0 ppm

Relevés de mesures – CO (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	120	125	0	0	0	0
Phase 3	0	0	250	250	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – NOx (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	1	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	1.5	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – HCL (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Relevés de mesures – HCN (ppm)								
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Phase 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 2	2	0	8	5	0	0	0	0
Phase 3	4	0	3	2	0	0	0	0
Phase 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase 5	0	0	0	0	0	0	0	0

A 50 m du point d'émission, sous le vent, il est constaté des retombées de fumées, les relevés suivant ont été fait :

- CO : 125 ppm
- HCN : 4 ppm
- HCl : 0 ppm
- NOX : 1.5 ppm

Conditions de mesure		Observations complémentaires
Orientation du caisson	Nord	-Mesures IRIAF de concentration des principaux polluants en continue. -Relevé IRIAF à l'aide de sondes et de thermocouples des vitesses de fumées et de l'évolution des températures en 5 points verticaux. -Prélèvements en bonbonnes IRIAF pour analyse par Spectromètre Infrarouge à Transformées de Fourier
Vent (vitesse et orientation)	2 m.s^{-1} ; Ouest	
Climat	Ensoleillé : 30 °C	

09/06/16 - MESURES TOXICOLOGIQUES SUR SIMULATEUR DE FEU

CESSION 2 / SDIS79

Objectif des essais : mesurer les gaz de combustion sur simulateurs de feu à l'occasion de brûlage sur simulateur techniques de lances.

DESCRIPTION DES MANIPULATIONS

Un type de brûlages sera réalisé sur un simulateur de feux réels : le simulateur « techniques de lances » est un caisson d'observation et d'attaque mais sur un feu limité par le combustible Le terme source, est constitué de 25 palettes et de mousse (polyuréthane).

Une fois les exercices réalisés, les tenues des utilisateurs sont entreposés dans un local pour ventilation. L'objectif est de mesurer la désorption des composés qui se sont fixés sur les tenues de feu. Ces derniers s'étant fixés sur la tenue par le phénomène d'adsorption.

MESURES ET PRELEVEMENTS REALISES

Prélèvements effectués :

- Prélèvement et analyse en continu des gaz suivants CO, CO2, NO, NOx (NO2 + NO), O2, SO2 au moyen de l'appareil portatif Horiba couplé au logiciel PG250 :
  - Analyseur de NO et NOx par chimiluminescence
  - Analyseur d'O2 paramagnétique
  - Analyseur de CO et SO2 par infrarouges
  - Analyseur de CO2 pyroélectrique

- Prélèvement et analyse au niveau du local de stockage des tenues au moyen du Testo t350 XL des gaz suivants : CO, CO2, NO, NO2, NO, O2, C_xH_y, H_2.

- Prélèvement des gaz de combustion dans des bonbonnes pour analyses en laboratoire à l'aide d'un Spectromètre Infrarouge à Transformées de Fourier

- Prélèvement d'air au niveau du local de stockage des tenues pour analyses à l'aide d'un Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier.

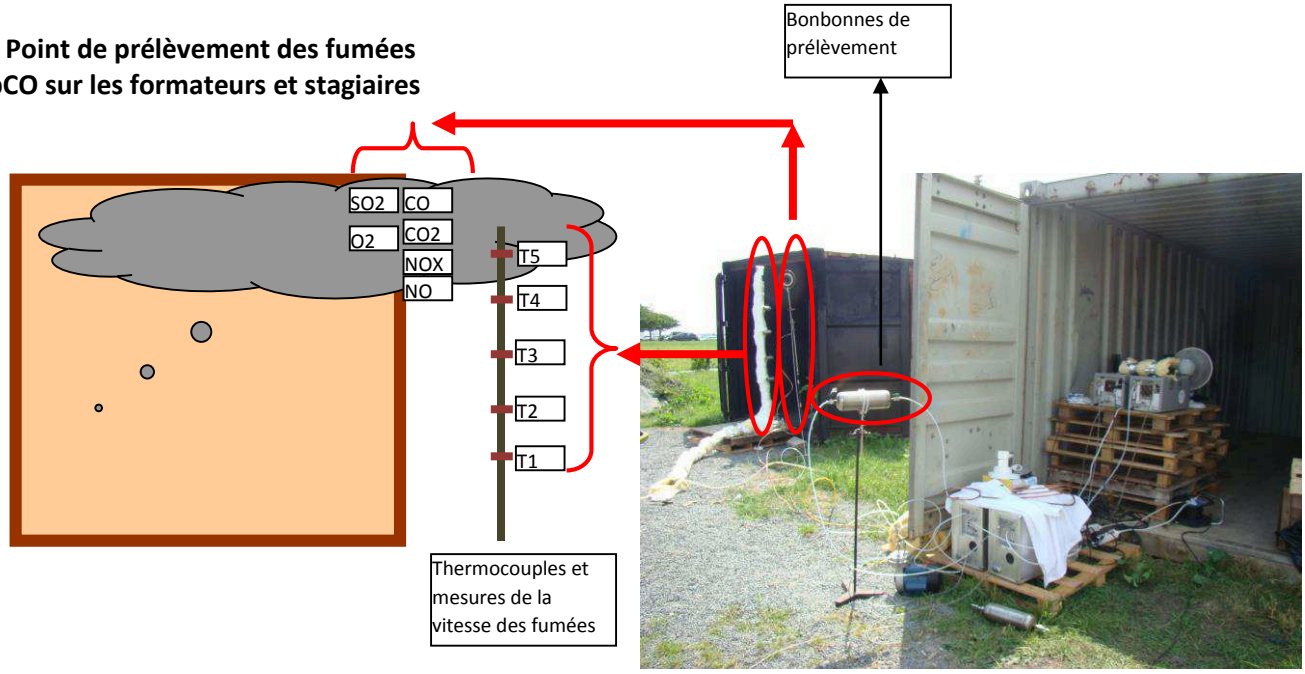
Suivi des intervenants et stagiaires :

Mesure HbCO

PROTOCOLE 4	**Simulateur techniques de lances**
Terme Source	25 palettes de bois (300k g), morceaux de mousse (polyuréthane).
Flux	Gazeux par les fumées d'incendie
Cibles	Stagiaires et formateurs à l'intérieur et l'extérieur de la structure Riverains au site de formation
Descriptif et déroulement des mesures	Réalisation de mesures aux points identifiés à chacune des phases.

Points de mesures :

P : Point de prélèvement des fumées
HbCO sur les formateurs et stagiaires



Appareillage du simulateur avec les sondes et bonbonnes de prélèvement

	CO	HCL	HCN	NOx	HbCO	Prélèvement
Phase 1 – mise en place (témoin)					**x**	
Phase 2 - allumage						
Phase 3 – plein développement						**x**
Phase 4 – fin d'exercice						
Phase 5 - déblai					**x**	

RELEVE DE MESURE – BRULAGE SIMULATEUR TECHNIQUES DE LANCES – 09/06/2016 - GH : 10h28-10h56

Relevé Co dans le caisson avant brûlage : 0 ppm

Mesures HbCO (%) dans le sang avec l'appareil RAD57 – Protocole 3 – Brûlage *en simulateur techniques de lances*					
	Fumeur	Pré brûlage (HbCO)	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1		0	10h28	0	10h56
Formateur 2		0	10h28	0	10h56
Formateur 3	x	4	10h28	2	10h56
Stagiaire 1		0	10h28	0	10h56
Stagiaire 2		0	10h28	0	10h56
Stagiaire 3	x	0	10h28	0	10h56
Stagiaire 4	x	0	10h28	0	10h56
Stagiaire 5		0	10h28	0	10h56
Stagiaire 6		0	10h28	0	10h56

Mesures en ppm de CO dans l'air expiré avec l'appareil tabataba– Protocole 3 – Brûlage *en simulateur techniques de lances*					
	Fumeur	Pré brûlage	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1		0	10h28	0	10h56
Formateur 2		0	10h28	0	10h56
Formateur 3	x	17	10h28	11	10h56
Stagiaire 1		4	10h28	5	10h56
Stagiaire 2		0	10h28	0	10h56
Stagiaire 3	x	20	10h28	8	10h56
Stagiaire 4	x	17	10h28	5	10h56
Stagiaire 5		2	10h28	0	10h56
Stagiaire 6		0	10h28	0	10h56

Conditions de mesure		Observations
Orientation du caisson	Nord	-Mesures IRIAF de concentration des principaux polluants en continue. -Relevé IRIAF à l'aide de sondes et de thermocouples des vitesses de fumées et de l'évolution des températures en 5 point verticaux. -Prélèvements IRIAF à l'aide de bonbonnes autour du caisson pour analyse par Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier. -Prélèvement avec bombonne IRIAF dans le vestiaire de rangement des tenues de feu.
Vent (vitesse et orientation)	2 ms^{-1} ;Nord-est-est	
Climat	Ensoleillé – 26°C	

RELEVE DE MESURE – BRULAGE SIMULATEUR TECHNIQUES DE LANCES – 09/06/2016 - GH : 14h40-15h05

Relevé Co dans le caisson avant brûlage : 130 ppm

Conditions de mesure		Observations
Orientation du caisson	Nord	-Mesures IRIAF de concentration des principaux polluants en continue. -Relevé IRIAF à l'aide de sondes et de thermocouples des vitesses de fumées et de l'évolution des températures en 5 point verticaux. -Prélèvement avec bombonne IRIAF autour du caisson pour analyse par Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier. -Prélèvement avec bombonne IRIAF dans le vestiaire de rangement des tenues de feu.
Vent (vitesse et orientation)	Nord-est-est	
Climat	Ensoleillé – 33°C	

Mesures HbCO (%) dans le sang avec l'appareil RAD57 – Protocole 3 – Brûlage *en simulateur techniques de lances*					
	Fumeur	Pré brûlage	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1	x	0	14h36	1	15h10
Formateur 2		0	14h36	3	15h10
Formateur 3		0	14h36	0	15h10
Stagiaire 1		0	14h36	1	15h10
Stagiaire 2		0	14h36	2	15h10
Stagiaire 3	x	0	14h36	3	15h10
Stagiaire 4	x	2	14h36	3	15h10
Stagiaire 5		0	14h36	0	15h10
Stagiaire 6		0	14h36	0	15h10

Mesures en ppm de CO dans l'air expiré avec l'appareil tabataba– Protocole 3 – Brûlage en simulateur techniques de lances

	Fumeur	Pré brûlage	GH	Post brûlage	GH
Formateur 1	x	18	14h36	7	15h10
Formateur 2		0	14h36	0	15h10
Formateur 3		1	14h36	0	15h10
Stagiaire 1		1	14h36	0	15h10
Stagiaire 2		3	14h36	0	15h10
Stagiaire 3	x	21	14h36	7	15h10
Stagiaire 4	x	22	14h36	5	15h10
Stagiaire 5		0	14h36	0	15h10
Stagiaire 6		4	14h36	0	15h10

PRESENTATION DES RESULTATS DES MESURES D'ANALYSE D'AIR EN PARTIE HAUTE DES SIMULATEURS TECHNIQUE DE LANCE DU SDIS 79.

Analyse du 9 juin 2016 10h30 – 10h56 au moyen de l'horiba PG250 en sortie de simulateur techniques de lances :

DATE	HEURE	MARQUE	NO	NOx	SO2	CO	CO2	O2
			ppm	ppm	ppm	ppm	%	%
09/06/2016	10:30:13	0	0	0	0	-1	-0,02	21,15
09/06/2016	10:31:41	40	0	0	0	0	-0,01	21,14
09/06/2016	10:32:21	80	0	1	0	1	-0,01	21,14
09/06/2016	10:33:01	120	0	1	0	5	0	21,13
09/06/2016	10:33:41	160	0	1	0	12	0	21,12
09/06/2016	10:34:21	200	0	1	0	2	-0,01	21,13
09/06/2016	10:35:01	240	0	1	0	11	-0,01	21,12
09/06/2016	10:35:41	280	0	1	0	6	-0,01	21,13
09/06/2016	10:36:21	320	0	0	0	3	-0,01	21,13
09/06/2016	10:37:01	360	0	0	0	3	-0,01	21,13
09/06/2016	10:37:41	400	0	0	0	18	-0,01	21,13
09/06/2016	10:38:21	440	0	0	0	31	0	21,12
09/06/2016	10:39:01	480	0	0	0	7	-0,01	21,13
09/06/2016	10:39:41	520	0	0	1	11	-0,01	21,13
09/06/2016	10:40:21	560	0	0	1	73	0,01	21,09
09/06/2016	10:41:01	600	1	0	0	32	0	21,11
09/06/2016	10:41:41	640	1	0	1	31	0	21,11
09/06/2016	10:42:21	680	0	0	0	14	-0,01	21,11
09/06/2016	10:43:01	720	0	0	0	15	-0,01	21,11
09/06/2016	10:43:41	760	0	0	0	10	-0,01	21,11
09/06/2016	10:44:21	800	0	0	0	26	0	21,1
09/06/2016	10:45:01	840	0	0	397	Over	11,3	12,91
09/06/2016	10:45:41	880	0	131	279	Over	9,84	12,18
09/06/2016	10:46:21	920	104	131	35	3729	7,96	11,85
09/06/2016	10:47:01	960	104	62	437	Over	8,97	9,89
09/06/2016	10:47:41	1000	71	62	206	Over	6,15	11,79
09/06/2016	10:48:21	1040	71	71	19	2556	10,01	9,3
09/06/2016	10:49:01	1080	68	71	116	Over	7,09	12,48
09/06/2016	10:49:41	1120	68	48	28	2590	6,08	13,14
09/06/2016	10:50:21	1160	40	48	5	459	4,89	15,58
09/06/2016	10:51:01	1200	40	38	9	1382	8,05	12,52
09/06/2016	10:51:41	1240	45	38	26	3146	6,88	12,32
09/06/2016	10:52:21	1280	45	49	14	1768	5,71	14,54
09/06/2016	10:53:01	1320	45	49	4	558	2,88	16,15
09/06/2016	10:53:41	1360	45	31	3	412	4,83	15,68
09/06/2016	10:54:21	1400	43	31	3	278	3,41	19,11
09/06/2016	10:55:01	1440	43	21	3	282	3,89	17,75
09/06/2016	10:55:41	1480	34	21	3	125	1,21	19,68
09/06/2016	10:56:21	1520	34	15	3	119	1,27	19,95

Analyse du 9 juin 2016 14h40 – 15h05 au moyen de l'horiba PG250 en sortie de simulateur technique de lances :

DATE	HEURE	MARQUE	NO	NOx	SO2	CO	CO2	O2
			ppm	ppm	ppm	ppm	%	%
09/06/2016	14:39:57	40	1	0	0	-12	0	20,92
09/06/2016	14:40:37	80	0	0	0	-8	0,02	20,91
09/06/2016	14:41:17	120	0	0	0	10	0,03	20,83
09/06/2016	14:41:57	160	0	0	7	600	0,7	20,22
09/06/2016	14:42:37	200	0	5	39	3228	1,64	19,65
09/06/2016	14:43:17	240	7	5	67	5100	5,19	16,11
09/06/2016	14:43:57	280	7	21	126	5100	4,7	15,9
09/06/2016	14:44:37	320	23	21	175	5100	4,61	16,32
09/06/2016	14:45:17	360	23	20	268	5100	7,05	14,76
09/06/2016	14:45:57	400	28	20	378	5100	8,07	12,01
09/06/2016	14:46:37	440	28	33	374	5100	7,9	13,08
09/06/2016	14:47:17	480	39	33	228	5100	5,71	13,98
09/06/2016	14:47:57	520	39	25	431	5100	7,93	12,8
09/06/2016	14:48:37	560	33	25	559	5100	12,21	5,95
09/06/2016	14:49:17	600	33	61	562	5100	8,95	11,93
09/06/2016	14:49:57	640	43	61	640	5100	9,08	9,3
09/06/2016	14:50:37	680	43	48	181	5100	6,52	14,45
09/06/2016	14:51:17	720	22	48	388	5100	9,03	6,48
09/06/2016	14:51:57	760	22	87	186	5100	12,65	9,31
09/06/2016	14:52:37	800	67	87	367	5100	10,82	7,12
09/06/2016	14:53:17	840	67	130	172	5100	9,66	10,28
09/06/2016	14:53:57	880	54	130	23	500	8,93	13,2
09/06/2016	14:54:37	920	54	58	56	3070	5,18	15,07
09/06/2016	14:55:17	960	25	58	27	979	7,13	13,62
09/06/2016	14:55:57	1000	25	57	79	5100	7,22	10,04
09/06/2016	14:56:37	1040	45	57	60	4931	7,02	11,21
09/06/2016	14:57:17	1080	45	48	38	3427	5,49	14,6
09/06/2016	14:57:57	1120	30	48	24	1704	7,76	12,11
09/06/2016	14:58:37	1160	30	53	16	756	6,12	13,83
09/06/2016	14:59:17	1200	33	53	15	686	4,56	15,27
09/06/2016	14:59:57	1240	33	39	17	1414	4,1	14,76
09/06/2016	15:00:37	1280	33	39	14	1164	4,71	15,43
09/06/2016	15:01:17	1320	33	37	16	1477	5,76	15,32
09/06/2016	15:01:57	1360	32	37	33	2455	2,63	15,95
09/06/2016	15:02:37	1400	32	25	32	2196	2,88	18,31
09/06/2016	15:03:17	1440	14	25	28	1928	2,4	17,95
09/06/2016	15:03:57	1480	14	13	20	1673	4,07	16,96
09/06/2016	15:04:37	1520	25	13	14	1036	5,02	16,39
09/06/2016	15:05:17	1560	25	31	9	497	4,86	15,71

Analyse du 9 juin 2016 11h02 – 13h38 au moyen du testo t350 XL dans le vestiaire de rangement des tenues de feu exposées.

Relevé maximum analysé pendant le créneau horaire défini 11h02 – 13h38 :

Testo t350 XL	% O2	CO (ppm)	NO (ppm)	SO2 (ppm)	NO2 (ppm)	NOx (ppm)	CxHy (ppm)	H2 (ppm)
	21,07	2	0	0	0	0	100	16

On notera qu'au cours de l'analyse, à partir de :

- 11h05 la concentration de CO dans le vestiaire atteint 0 ppm
- 11h11 la concentration d'hydrocarbure CxHy atteint 0 ppm

Ce temps correspond à la phase de désorption des produits emmagasiné dans la tenue.
Il est à noter également que pendant ces 2h35 de mesures en continue, la concentration en hydrogène ne cesse d'augmenter pour passer de 2 ppm à 16 ppm et se stabiliser à ce niveau. La présence d'hydrogène est due à la rupture de liaisons moléculaires de molécules que l'appareil ne peut mesurer.

Analyse des prélèvements réalisés dans des bombonnes pour analyse par spectrométrie de infrarouges à transformée de fourrier.

Une valeur négative n'a aucune signification physique ou chimique et correspond à 0 (ou tout au moins à une valeur qui est inférieur à la limite de détection de l'appareil (~5 à 10 ppm maximum en fonction des molécules) et qui se trouve dans le bruit de fond de l'appareil est donc non exploitable).

Ces valeurs négatives sont liées à la calibration initiale et aux interférences qui peuvent exister entre certaines molécules lors de l'analyse en Spectromètre à Infrarouge à Transformée de Fourier.

Par exemple, C2H2 a des bandes d'absorption qui interférent avec celles d'HCN, les C2 et C3 ont des bandes qui interférent les unes avec les autres pour une même famille chimique (alcane - alcane par exemple) ou pour des familles chimiques différentes (alcane - alcène par exemple)... Il en va de même pour les espèces potentiellement présentent mais qui n'ont pas ou ne peuvent pas être calibrées (cas des quelques ppm de HAP, suies, aromatiques, hydrocarbures, alcools, aldéhydes... qui peuvent ne pas avoir condensées et dont certaines bandes d'absorption qui interférent avec celles des espèces que l'on mesure).

La colonne "std error" correspond à la marge d'erreur. C'est ce qui permet de dire que l'espèce n'est sûrement pas présente si son erreur est supérieure à l'erreur mesurée.

Brûlage du 7 juin 2016 - Prélèvement n°1			
Analyse échantillon brut en sortie haute du simulateur			
Component		Concentration (ppm)	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	5604	246
CO2	Dioxyde de carbone	24888	2342
CH4	Méthane	2565	302
C2H2	Acétylène	273	67
C2H4	Ethylène	867	51
C2H6	Ethane	201	349
C3H6	Propène	63	27
C3H8	Propane	36	74
NO	Oxyde d'azote	-9	13
NO2	Dioxyde d'azote	3	8
N2O	Protoxyde d'azote	9	18
NH3	Ammoniaque	3	9
HCN	Acide cyanhydrique	-15	20
SO2	Dioxyde de souffre	-9	152
H2O	Eau	53442	2041
HCl	Acide chlorhydrique	-9	7

Brûlage du 7 juin 2016 - Prélèvement n°2			
Analyse échantillon brut en sortie haute du simulateur			
Component		Concentration (ppm)	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	12199,5	981,3
CO2	Dioxyde de carbone	73141,5	6198,15
CH4	Méthane	2680,5	334,8
C2H2	Acétylène	34,5	16,8
C2H4	Ethylène	640,5	43,5
C2H6	Ethane	124,5	284,25
C3H6	Propène	10,5	12,9
C3H8	Propane	54	78
NO	Oxyde d'azote	1,5	11,55
NO2	Dioxyde d'azote	6	10,2
N2O	Protoxyde d'azote	12	19,8
NH3	Ammoniaque	9	8,55
HCN	Acide cyanhydrique	-6	15,15
SO2	Dioxyde de souffre	15	122,4
H2O	Eau	53004	1884,6
HCl	Acide chlorhydrique	-3	6

Brûlage du 9 juin 2016 - matin - Prélèvement n°1			
Analyse échantillon brut en sortie haute du simulateur			
Component		Concentration (ppm)	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	3672	137,1
CO2	Dioxyde de carbone	31756	1524,7
CH4	Méthane	1158	117,5
C2H2	Acétylène	8	16,2
C2H4	Ethylène	203	10,9
C2H6	Ethane	-17	81,5
C3H6	Propène	6	4,4
C3H8	Propane	13	19,9
NO	Oxyde d'azote	-6	9,5
NO2	Dioxyde d'azote	3	8
N2O	Protoxyde d'azote	4	5,5
NH3	Ammoniaque	2	3,4
HCN	Acide cyanhydrique	-9	13,3
SO2	Dioxyde de souffre	27	85,5
H2O	Eau	45635	1319,1
HCl	Acide chlorhydrique	-1	2

Brûlage du 9 juin 2016 - Après-midi - Prélèvement n°2			
Analyse échantillon brut en sortie haute du simulateur			
Component		Concentration (ppm)	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	3196	113,6
CO2	Dioxyde de carbone	18520	965,4
CH4	Méthane	718	86,9
C2H2	Acétylène	107	24,9
C2H4	Ethylène	191	12,2
C2H6	Ethane	-21	80,6
C3H6	Propène	6	4,4
C3H8	Propane	9	12,7
NO	Oxyde d'azote	-9	9,8
NO2	Dioxyde d'azote	3	7,3
N2O	Protoxyde d'azote	5	5,4
NH3	Ammoniaque	3	3,2
HCN	Acide cyanhydrique	-12	12,2
SO2	Dioxyde de souffre	27	73,2
H2O	Eau	41465	1119,1
HCl	Acide chlorhydrique	-4	1,6

Brûlage du 9 juin 2016 - Après-midi - Prélèvement n°1				
Extérieur@ 45° (d> 20 m caisson)				
Analyse échantillon brut				
Component		Concentration (ppm)	Unit	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	1	ppm	9
CO2	Dioxyde de carbone	471	ppm	38
CH4	Méthane	-1	ppm	7
C2H2	Acétylène	-3	ppm	13
C2H4	Ethylène	-1	ppm	4
C2H6	Ethane	-42	ppm	51
C3H6	Propène	-4	ppm	4
C3H8	Propane	1	ppm	4
NO	Oxyde d'azote	-7	ppm	7
NO2	Dioxyde d'azote	2	ppm	6
N2O	Protoxyde d'azote	1	ppm	1
NH3	Ammoniaque	0	ppm	3
HCN	Acide cyanhydrique	-8	ppm	9
SO2	Dioxyde de souffre	2	ppm	54
H2O	Eau	40277	ppm	963
HCl	Acide chlorhydrique	3	ppm	1

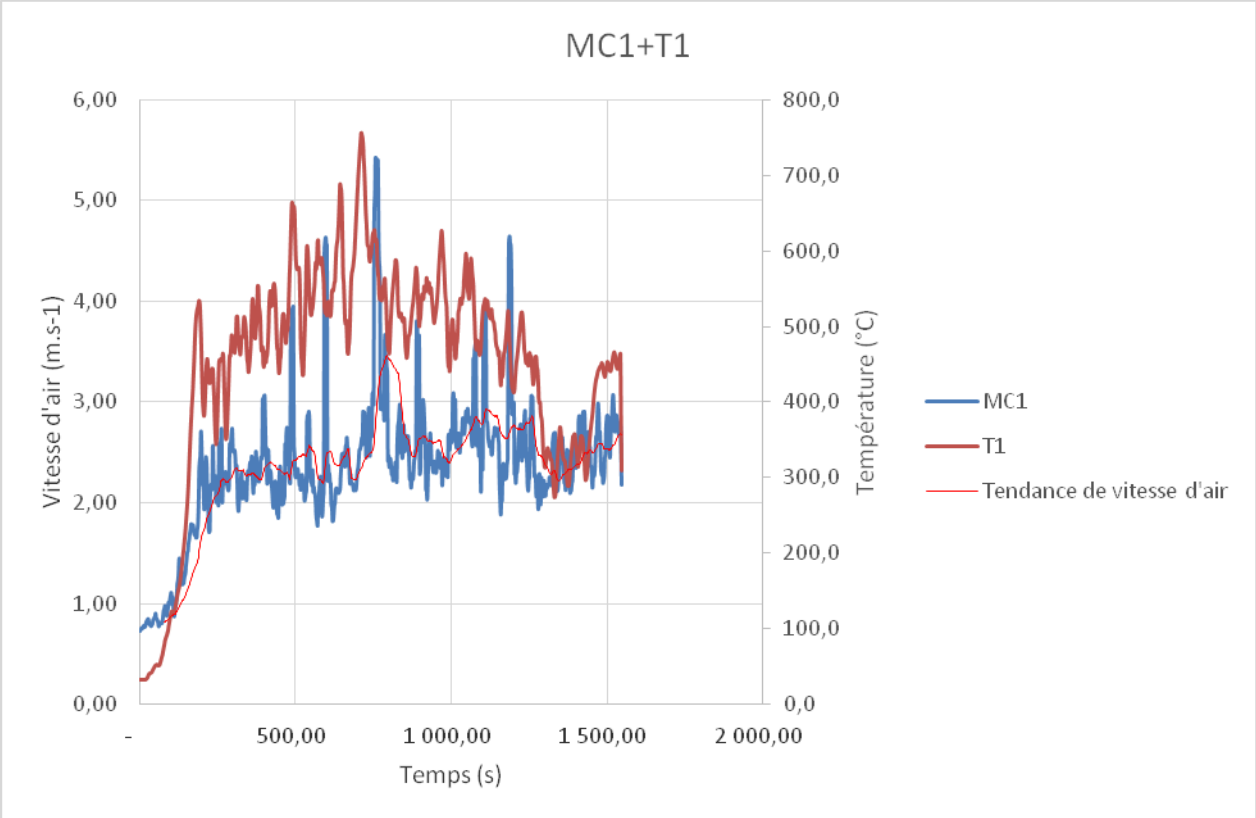
Brûlage 9 juin 2016 - Après-midi - Prélèvement n°2				
Extérieur@ 90° (d> 20 m caisson)				
Analyse échantillon brut				
Component		Concentration (ppm)	Unit	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	8	ppm	8
CO2	Dioxyde de carbone	521	ppm	39
CH4	Méthane	1	ppm	6
C2H2	Acétylène	-3	ppm	10
C2H4	Ethylène	5	ppm	4
C2H6	Ethane	-35	ppm	47
C3H6	Propène	-3	ppm	2
C3H8	Propane	2	ppm	4
NO	Oxyde d'azote	-8	ppm	6
NO2	Dioxyde d'azote	1	ppm	5
N2O	Protoxyde d'azote	1	ppm	1
NH3	Ammoniaque	2	ppm	3
HCN	Acide cyanhydrique	-6	ppm	8
SO2	Dioxyde de souffre	1	ppm	49
H2O	Eau	38005	ppm	893
HCl	Acide chlorhydrique	0	ppm	1

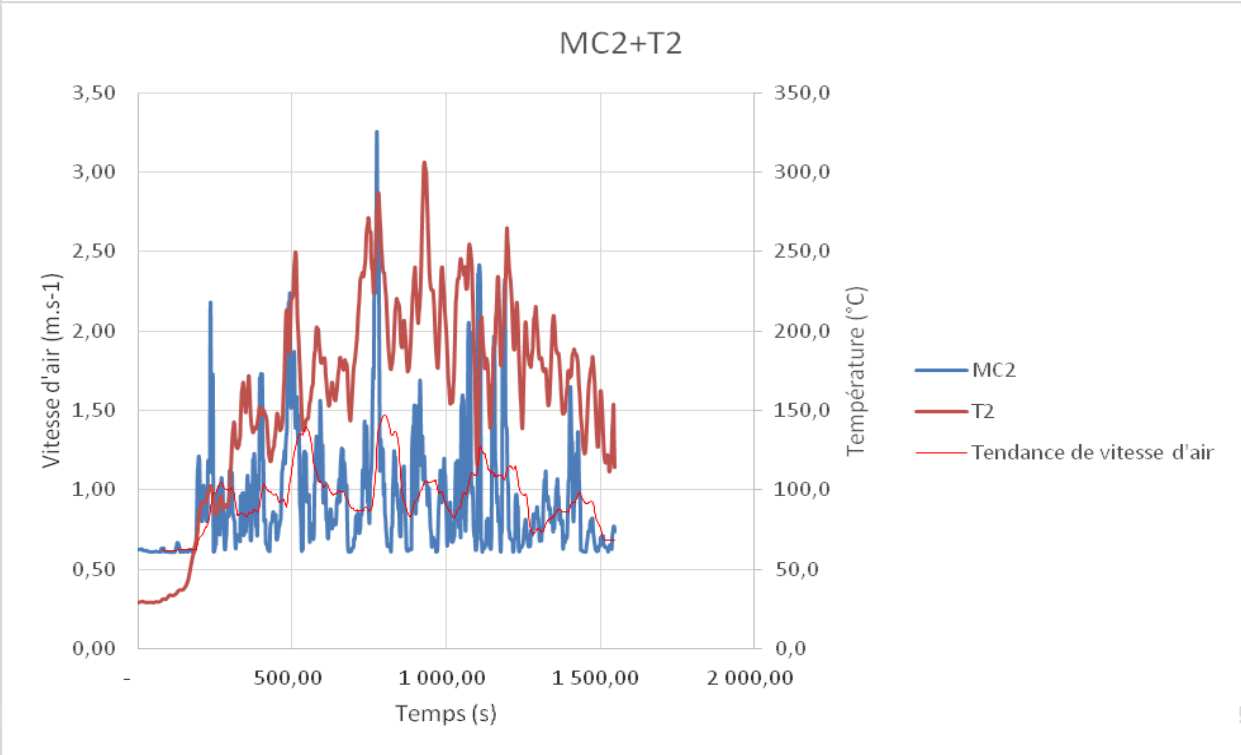
Vestiaire 9 juin 2016 - Créneau 11h02-13h38 - Prélèvement n°1			
Analyse échantillon brut			
Component		Concentration	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	32	9,7
CO2	Dioxyde de carbone	719	56,4
CH4	Méthane	4	7,9
C2H2	Acétylène	-4	12,1
C2H4	Ethylène	0	4,9
C2H6	Ethane	-40	56
C3H6	Propène	-6	3,9
C3H8	Propane	2	5,3
NO	Oxyde d'azote	-10	7,5
NO2	Dioxyde d'azote	2	6,5
N2O	Protoxyde d'azote	1	0,9
NH3	Ammoniaque	1	2,8
HCN	Acide cyanhydrique	-6	8,8
SO2	Dioxyde de souffre	3	59,8
H2O	Eau	43141	1069
HCl	Acide chlorhydrique	0	2

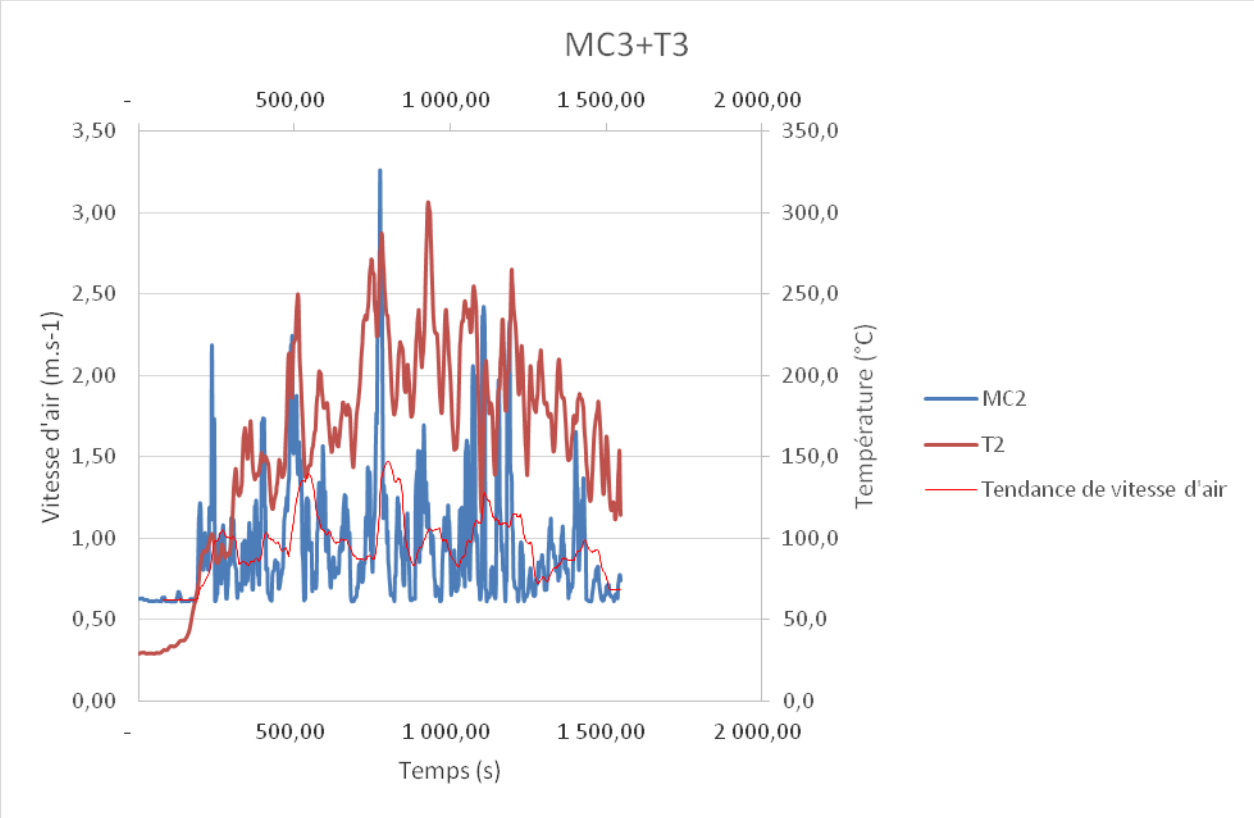
Vestiaire 9 juin 2016 - Créneau 11h02-13h38 - - Prélèvement n°2			
Analyse échantillon brut			
Component		Concentration	Std. error
CO	Monoxyde de carbone	-1	10,8
CO2	Dioxyde de carbone	848	64,9
CH4	Méthane	-1	8,7
C2H2	Acétylène	-2	13,2
C2H4	Ethylène	1	3,4
C2H6	Ethane	-34	63,7
C3H6	Propène	-6	4
C3H8	Propane	4	5,6
NO	Oxyde d'azote	-11	8,4
NO2	Dioxyde d'azote	4	7,1
N2O	Protoxyde d'azote	1	1
NH3	Ammoniaque	1	3,9
HCN	Acide cyanhydrique	-10	9,9
SO2	Dioxyde de souffre	2	64,2
H2O	Eau	44260	1141
HCl	Acide chlorhydrique	-1	1,2

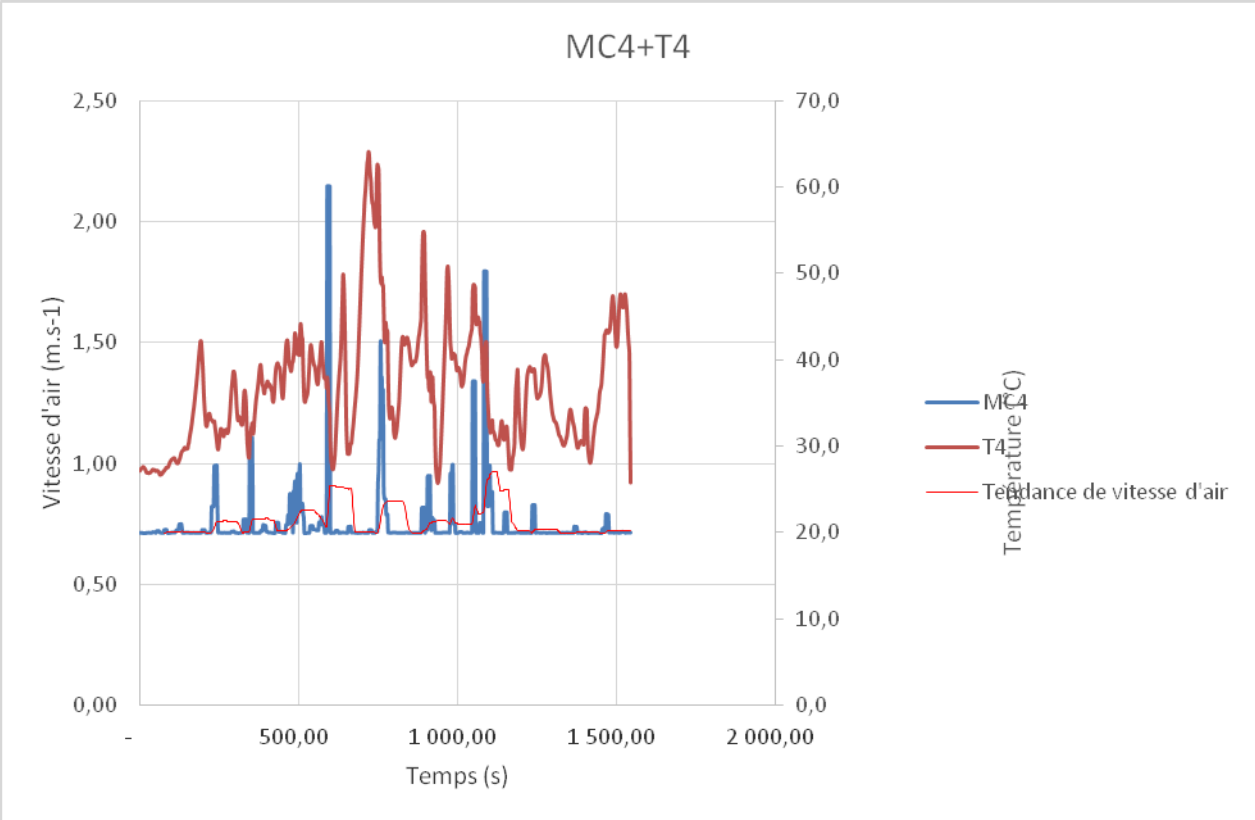
Mesures des vitesses d'air et des températures relevés sur les 5 thermocouples et 5 capteurs de vitesse d'air. Réalisation le 9 juin 2016 après-midi.

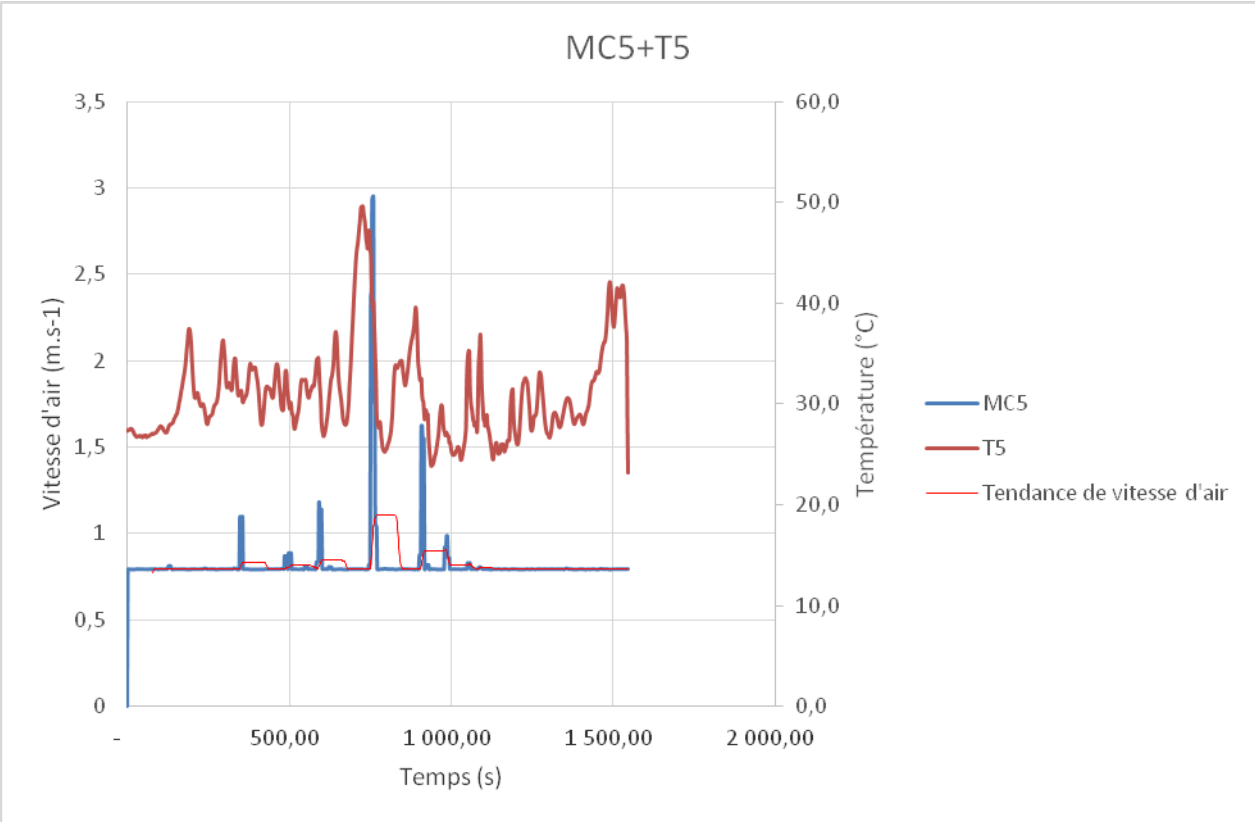
Hauteur de positionnement des sondes sur le caisson de 2.5 m de hauteur :
Hauteur Sonde MC1 + T1 = 2.08m
Hauteur Sonde MC2 + T2 = 1.56m
Hauteur Sonde MC3 + t3 = 1.275m
Hauteur Sonde MC4 + T4 = 0.935m
Hauteur Sonde MC5 + T5 = 0.635m






MC3+T3
Vitesse d'air (m.s-1)
Température (°C)
Temps (s)
MC2
T2
Tendance de vitesse d'air


MC4+T4
Vitesse d'air (m.s-1)
Température (°C)
Temps (s)
MC4
T4
Tendance de vitesse d'air


MC5+T5
Vitesse d'air (m.s-1)
Température (°C)
Temps (s)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
-
500,00
1 000,00
1 500,00
2 000,00
MC5
T5
Tendance de vitesse d'air

ANNEXE 2

Outil de zonage toxicologique SO_2

Zonage toxicologique du SO2 émis par le simulateur feu

- Choix de la valeur toxicologique :

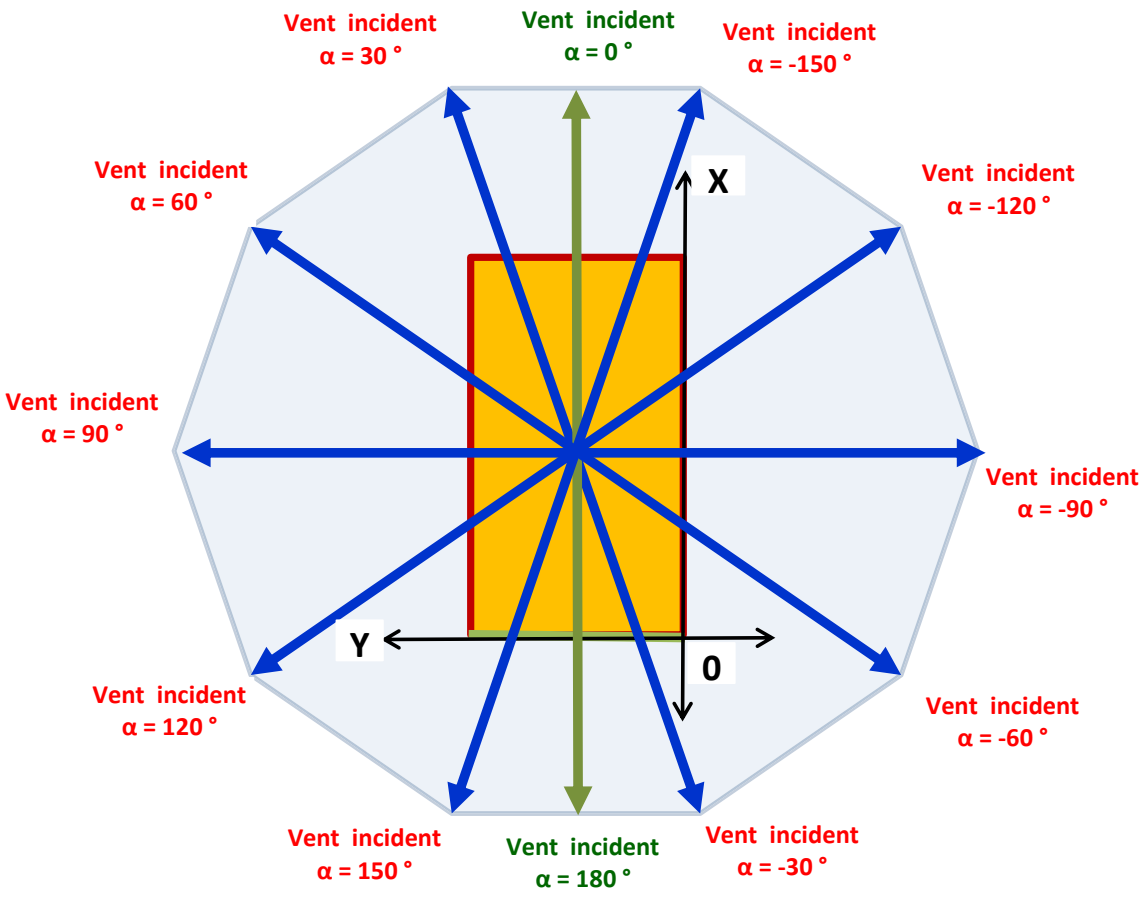
- Durée d'un brûlage : environ 30 minutes donc choix de valeurs toxicologiques à 30 minutes,
- SER 30 minutes pour le SO2 : 3 ppm.

- Conditions de la simulation réalisée avec Fire Dynamic Simulator :

- Température : 25 °C,
- Hygrométrie : 40 %,
- Hauteur de la mesure toxicologique : 1,80 mètre.

- Utilisation de l'outil de zonage toxicologique :

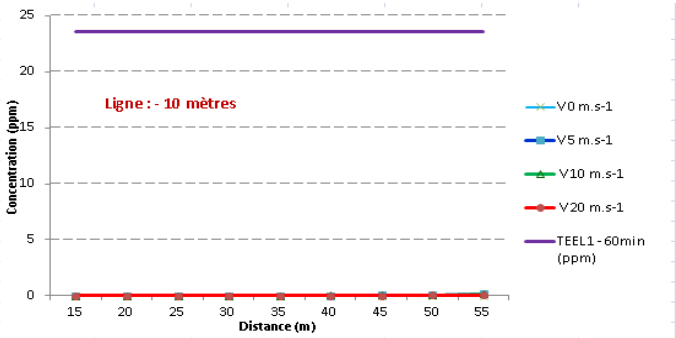
1. Sélectionner l'onglet avec l'angle incident du vent par rapport à l'entrée du simulateur feu (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). Se reporter à la rosace des vents :



2. Déterminer la vitesse du vent (0, 5, 10 15, 20 m.s-1),
3. Pour chaque ligne de calcul verticale (-10 mètres, -5 m, 0 m; +5m, +10m), déterminer sur le graphique correspondant la distance pour laquelle le seuil toxicologique sera atteint,
4. Reporter chacune de ces valeurs sur les 5 lignes de la cartographie toxicologique,
5. Tracer la plume correspondante en reliant les points,
6. Réaliser ce travail pour les NOx, le SO2, CO, les suies,
7. En déduire un zonage toxicologique général d'exclusion par compilation des 4 données du point n°6,
8. En phase d'utilisation, les concentrations des toxiques HCN (AEGL1-30 min : 2,5 ppm) et HCl (AEGL1-30 min : 1,8 ppm) devront être prises en compte. Pour cela, des relevés de concentration, dans la zone d'exclusion définie ci-dessus, seront réalisés afin de s'assurer que ces derniers soient inférieurs aux seuils toxicologiques de références.

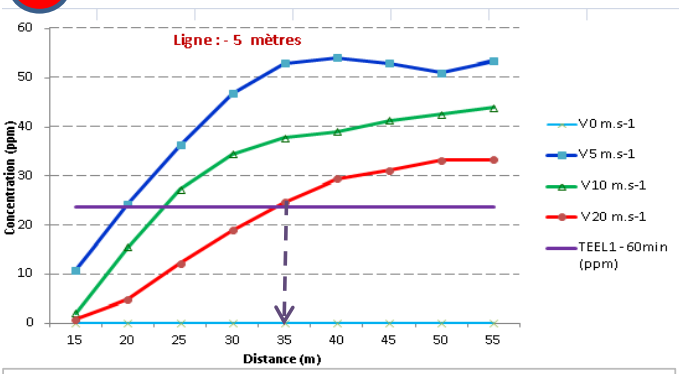
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

1



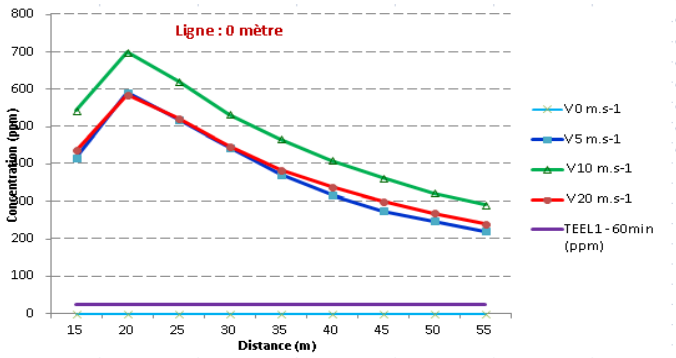
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne -10 m à la distance de 15 m.

2

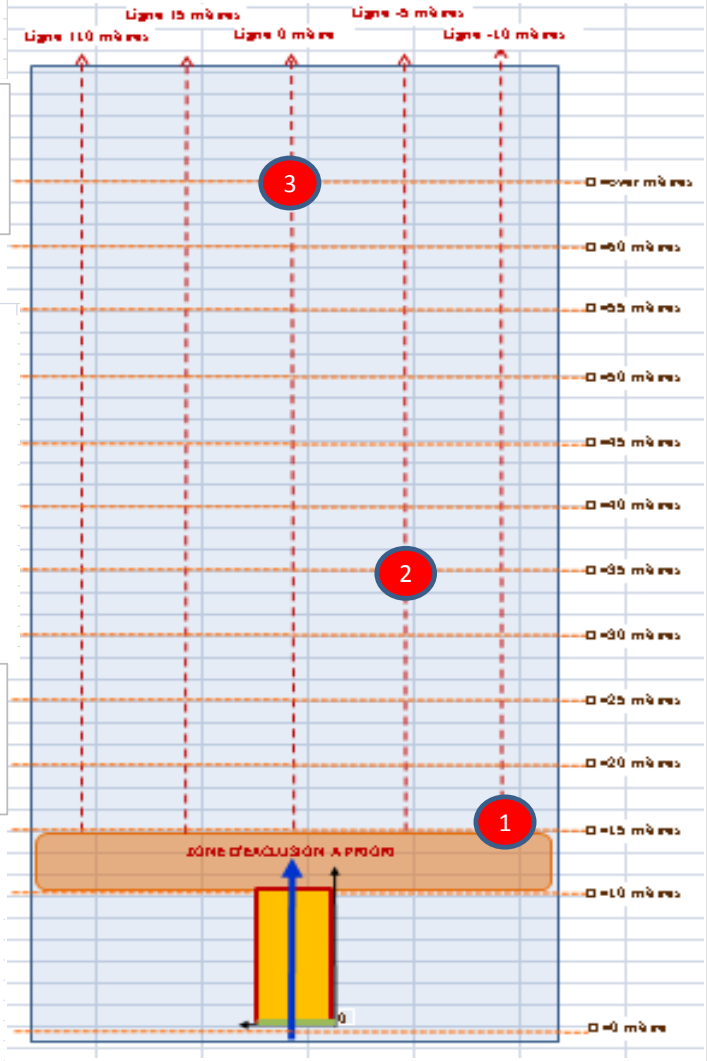


La concentration en toxiquesest atteinte pour la distance de 35 m.
Positionnement du point sur la ligne -5 m à la distance de 35 m.

3

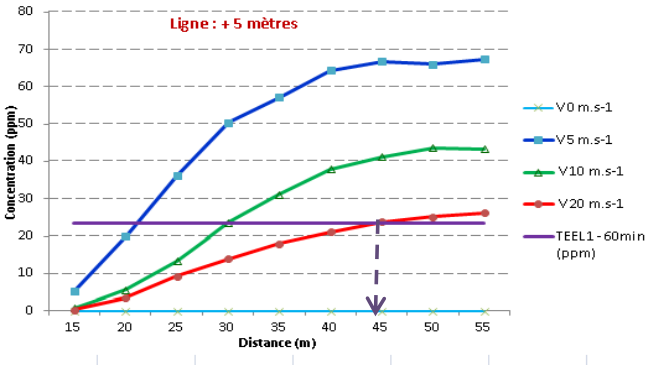


La concentration en toxique est dépassée de 15 m à 55 m.
Positionnement du point sur la ligne 0 m au delà de 55 m.



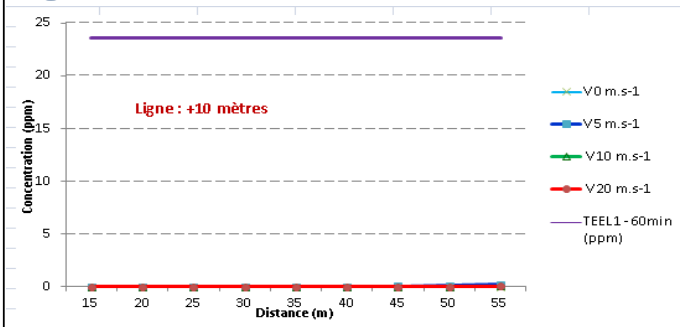
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

4

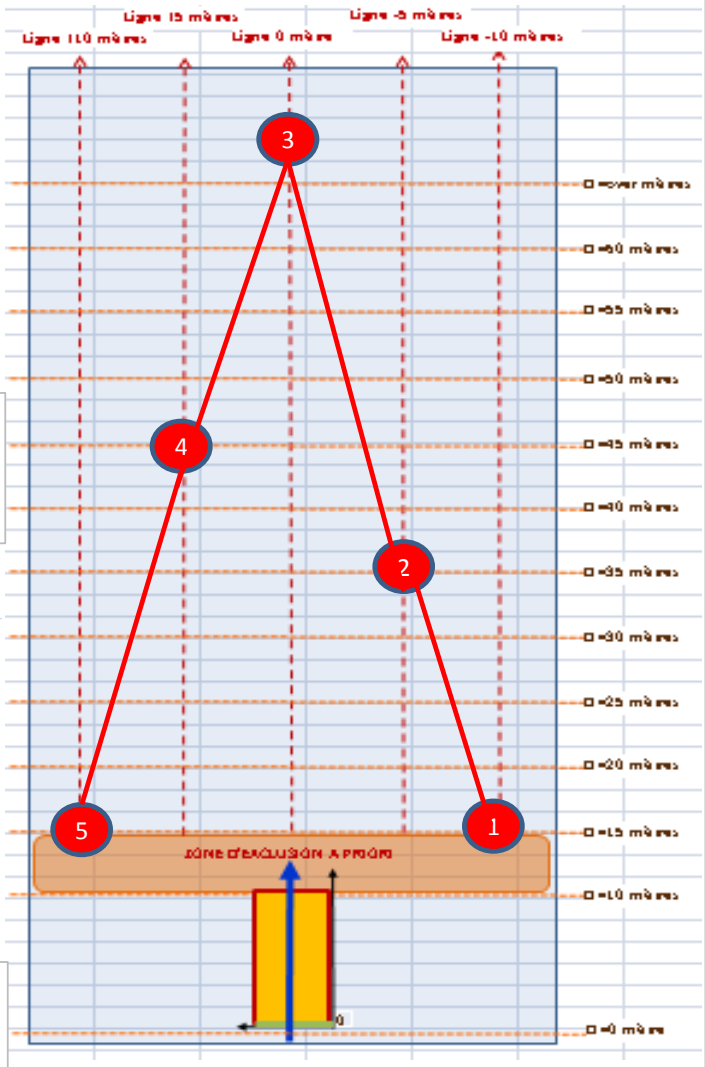


La concentration en toxiques est atteinte pour la distance de 45 m.
Positionnement du point sur la ligne +5 m à la distance de 45 m.

5



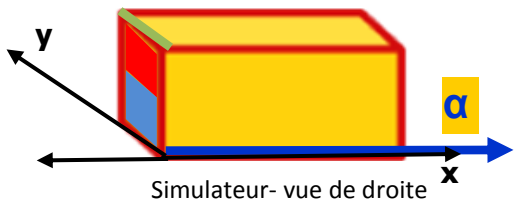
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne +10 m à la distance de 15 m.



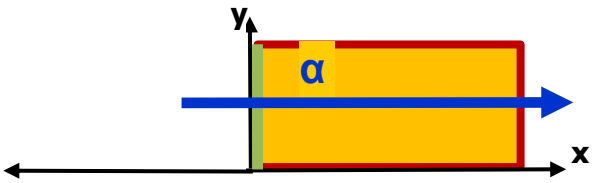
Finaliser l'outil pour le toxique considéré en reliant chaque point pour matérialiser la zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle aucune personne ne devra se trouver.
Les zones d'exclusion des 4 toxiques (NOx, SO2, CO et suies) devront être comparées afin de retenir la zone toxicologique majorante.

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

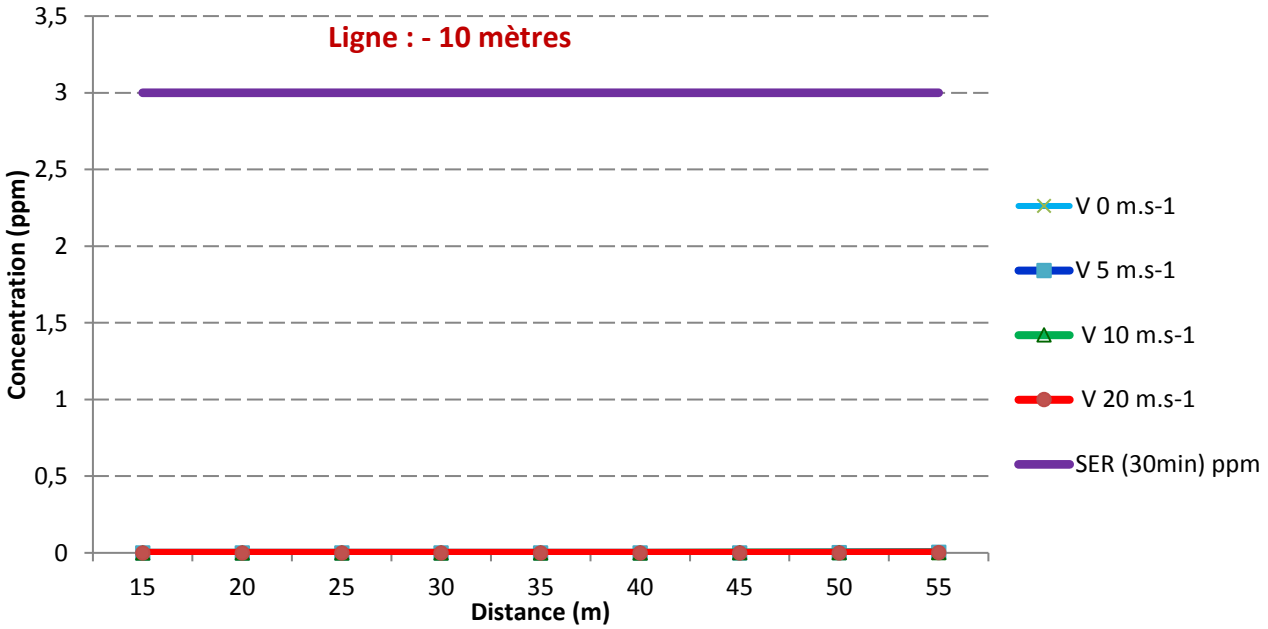
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 0 °

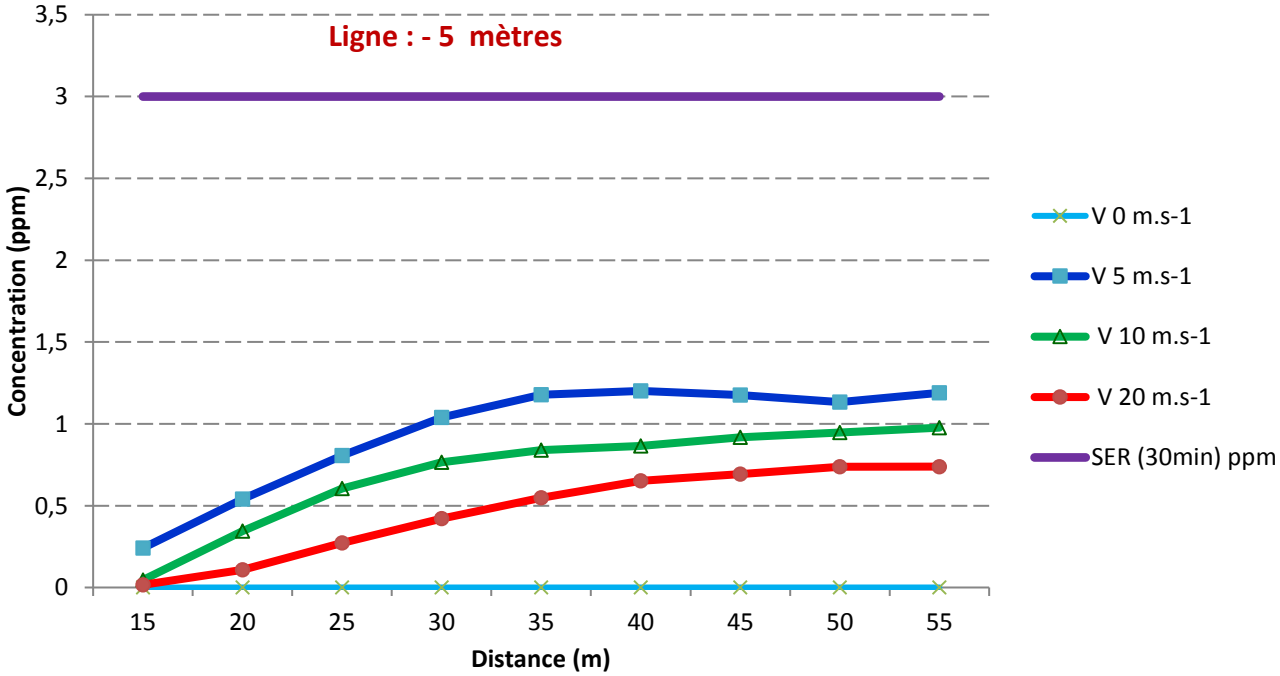


Simulateur- vue de droite

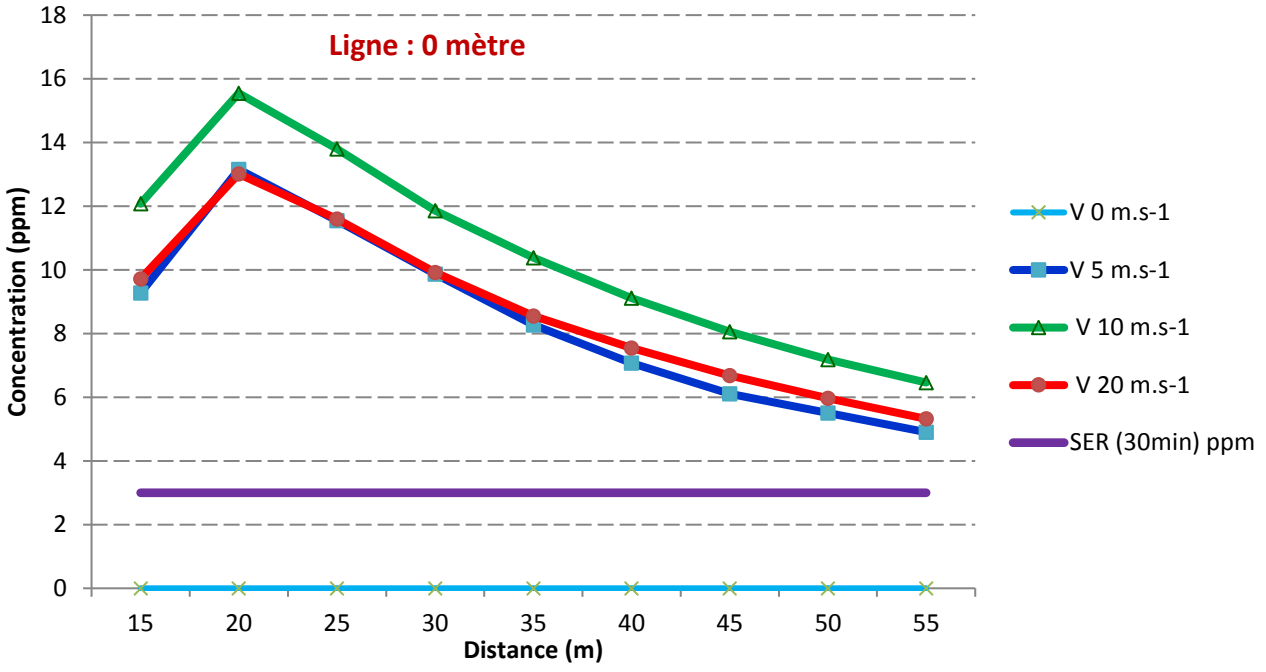


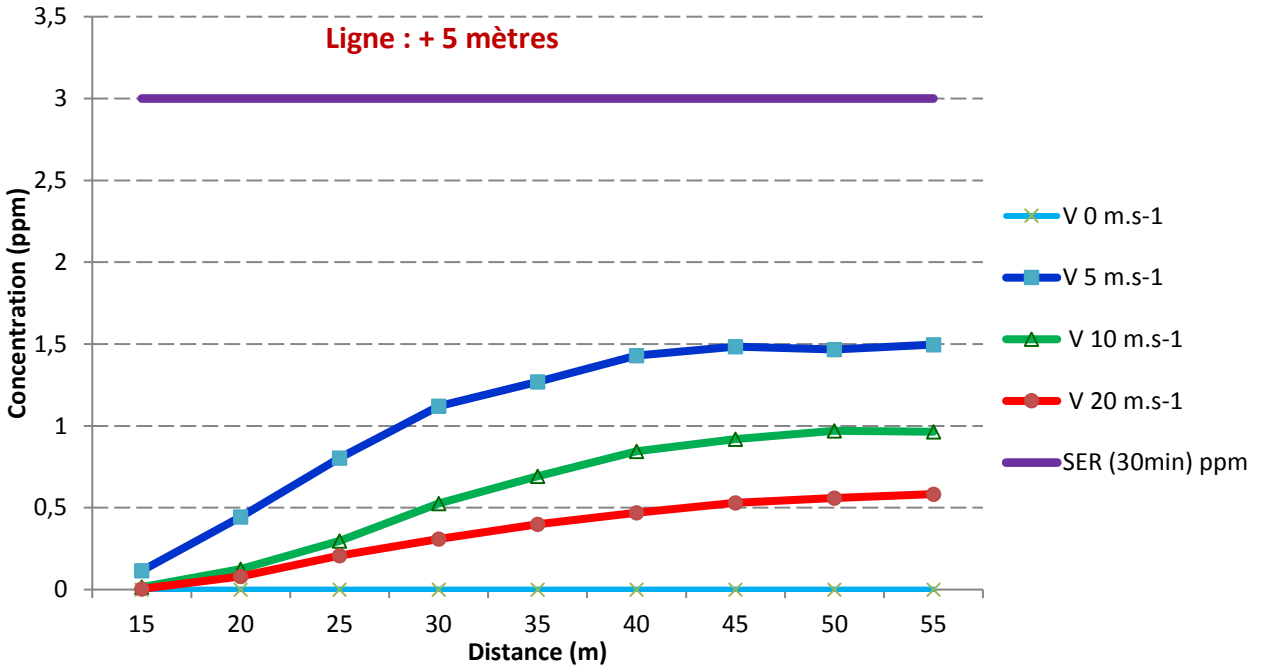
Simulateur - vue de dessus

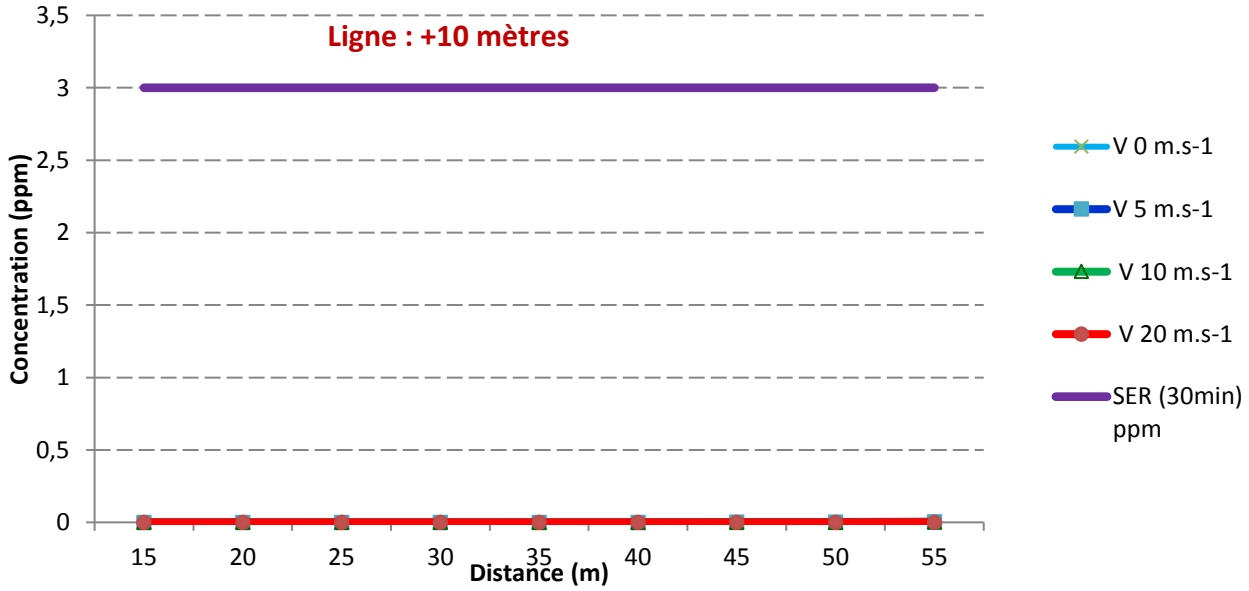




SO2 - angle alpha 0°



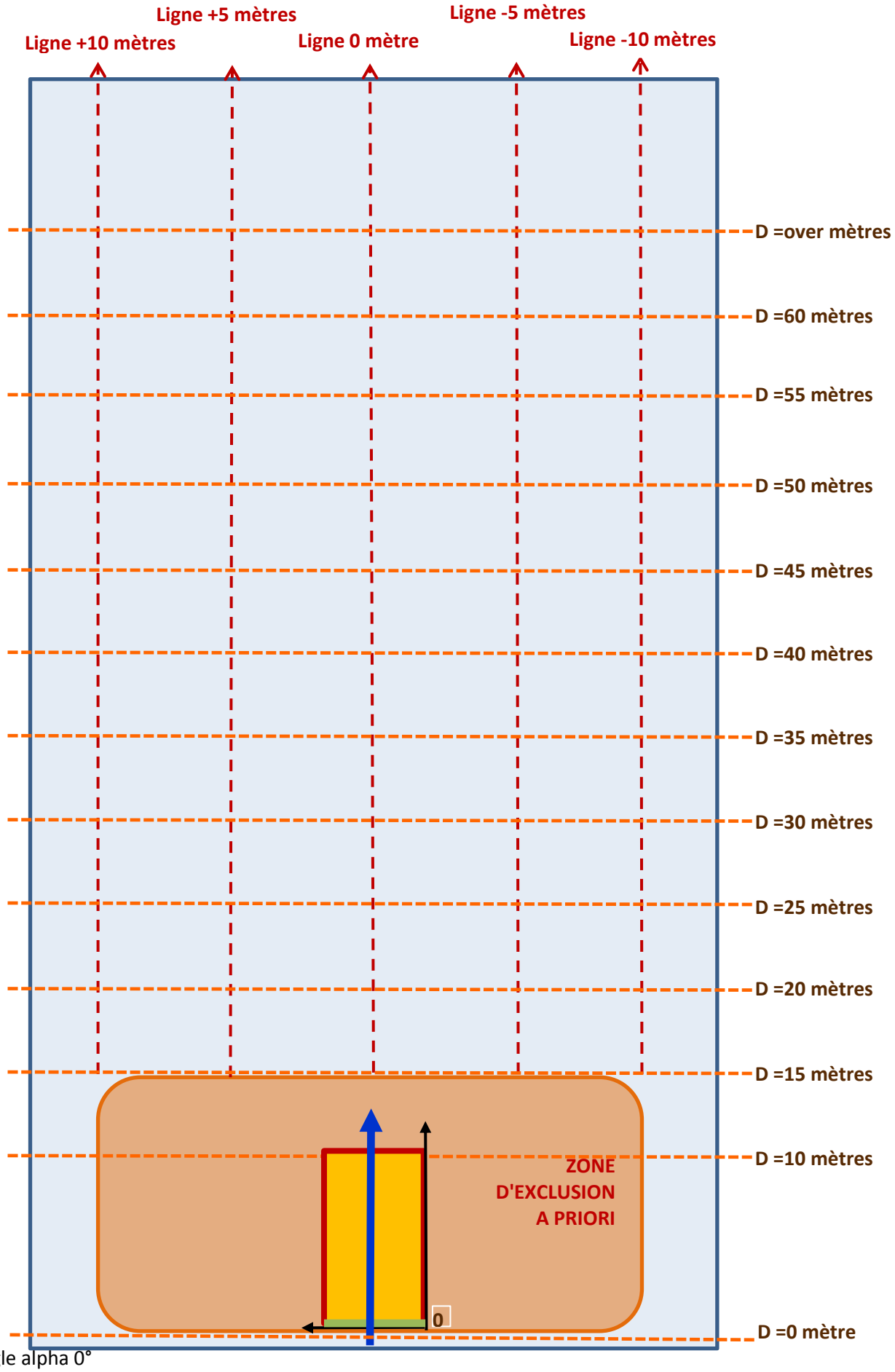




SO2 - angle alpha 0°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

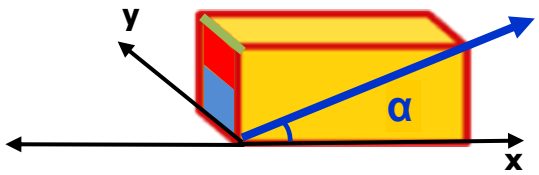
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 0 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



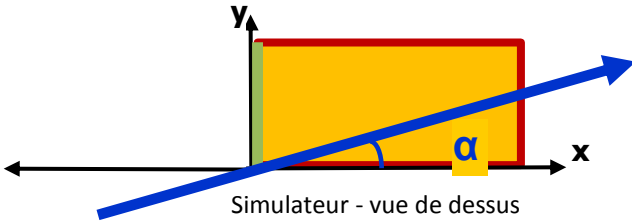
SO2 - angle alpha 0°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

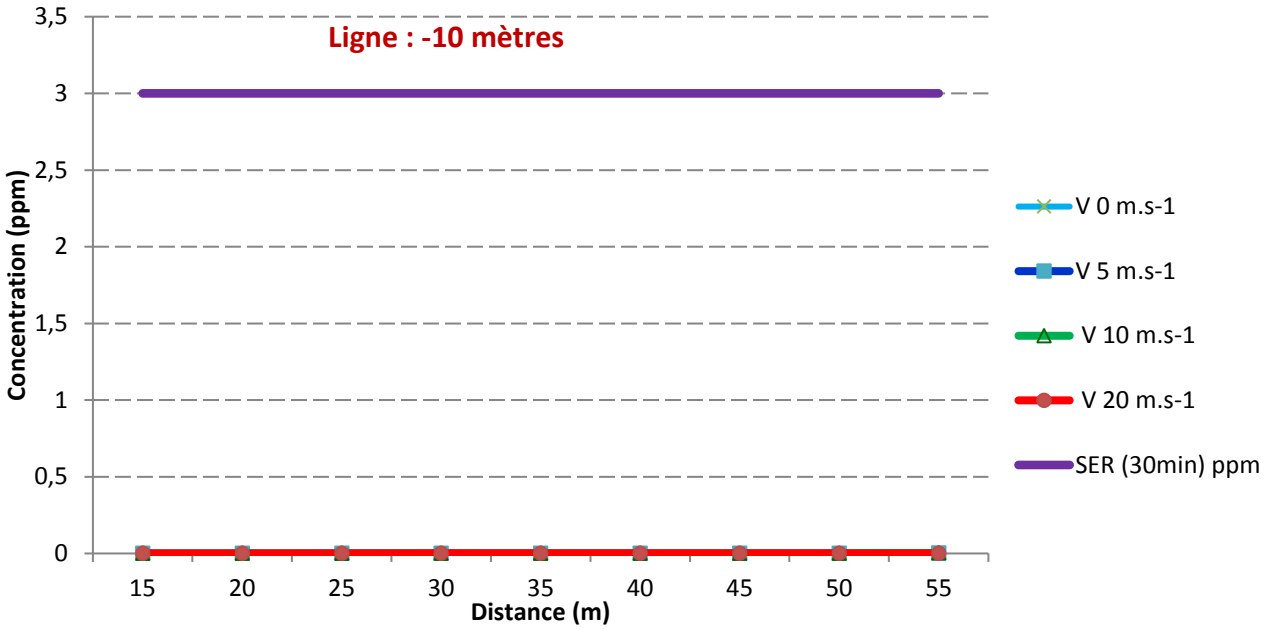
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 30 °

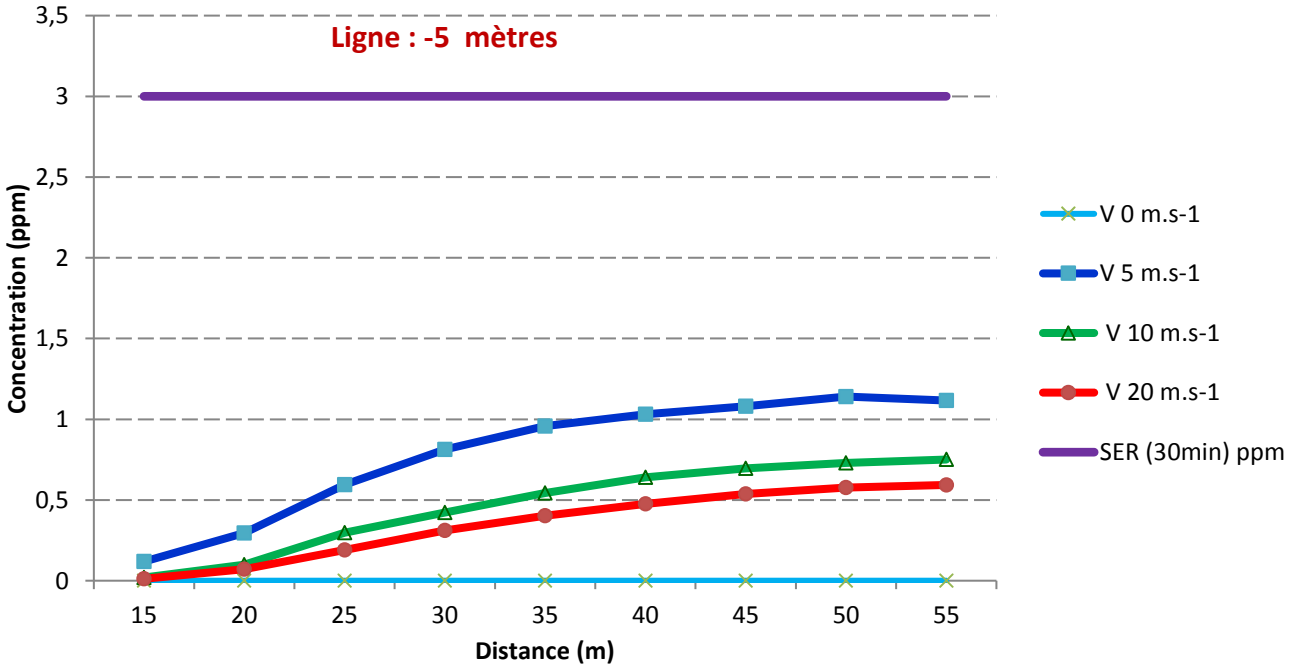


Simulateur- vue de droite

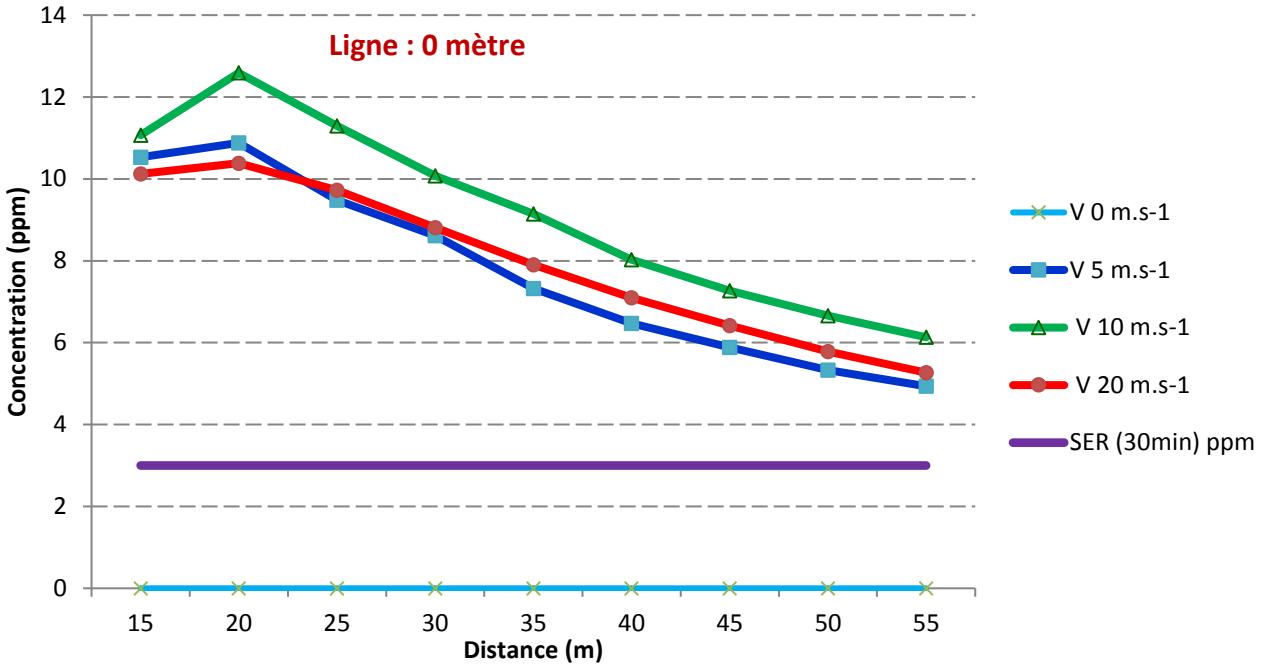


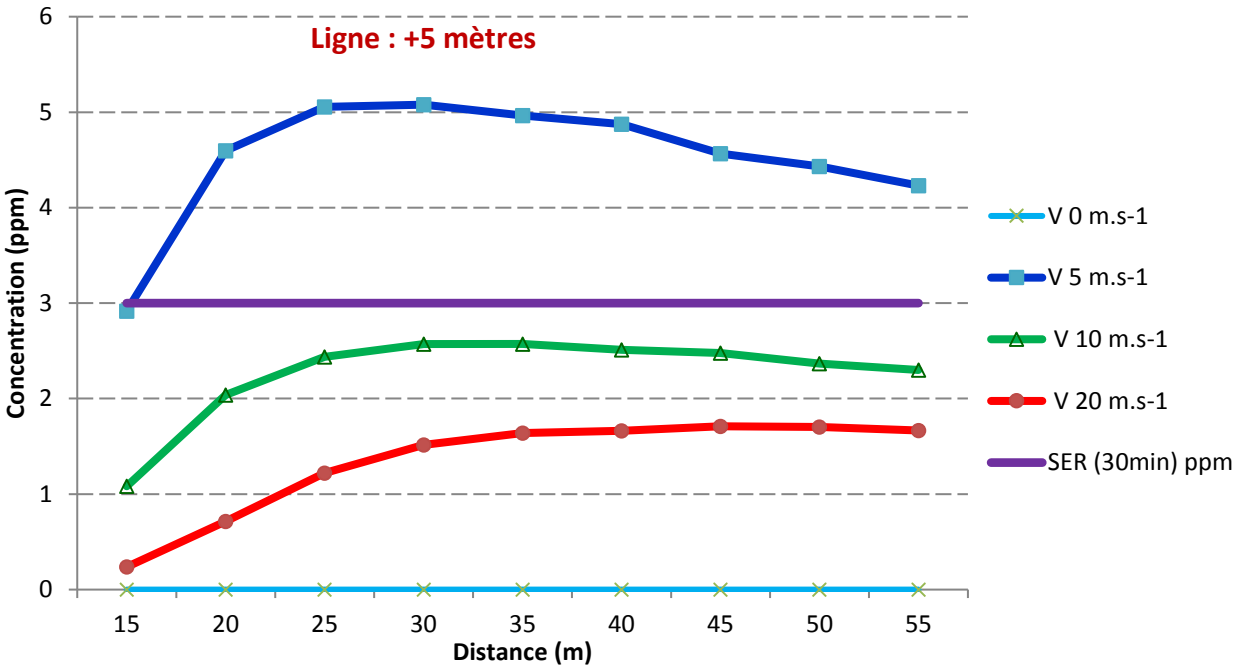
Simulateur - vue de dessus

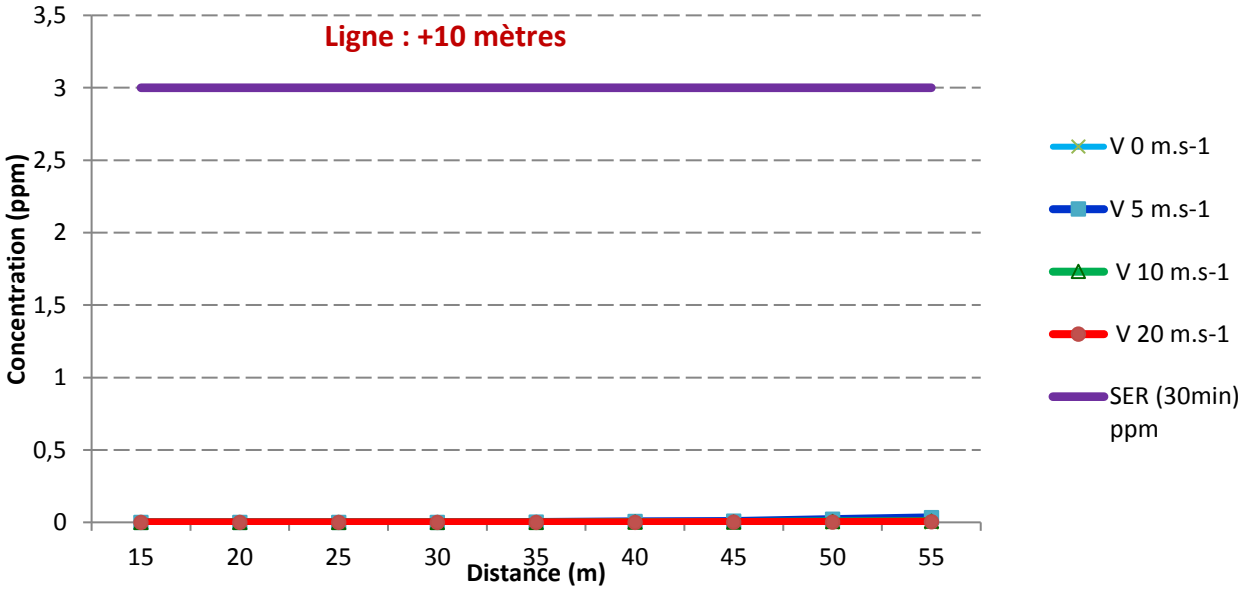




SO2 - angle alpha 30°



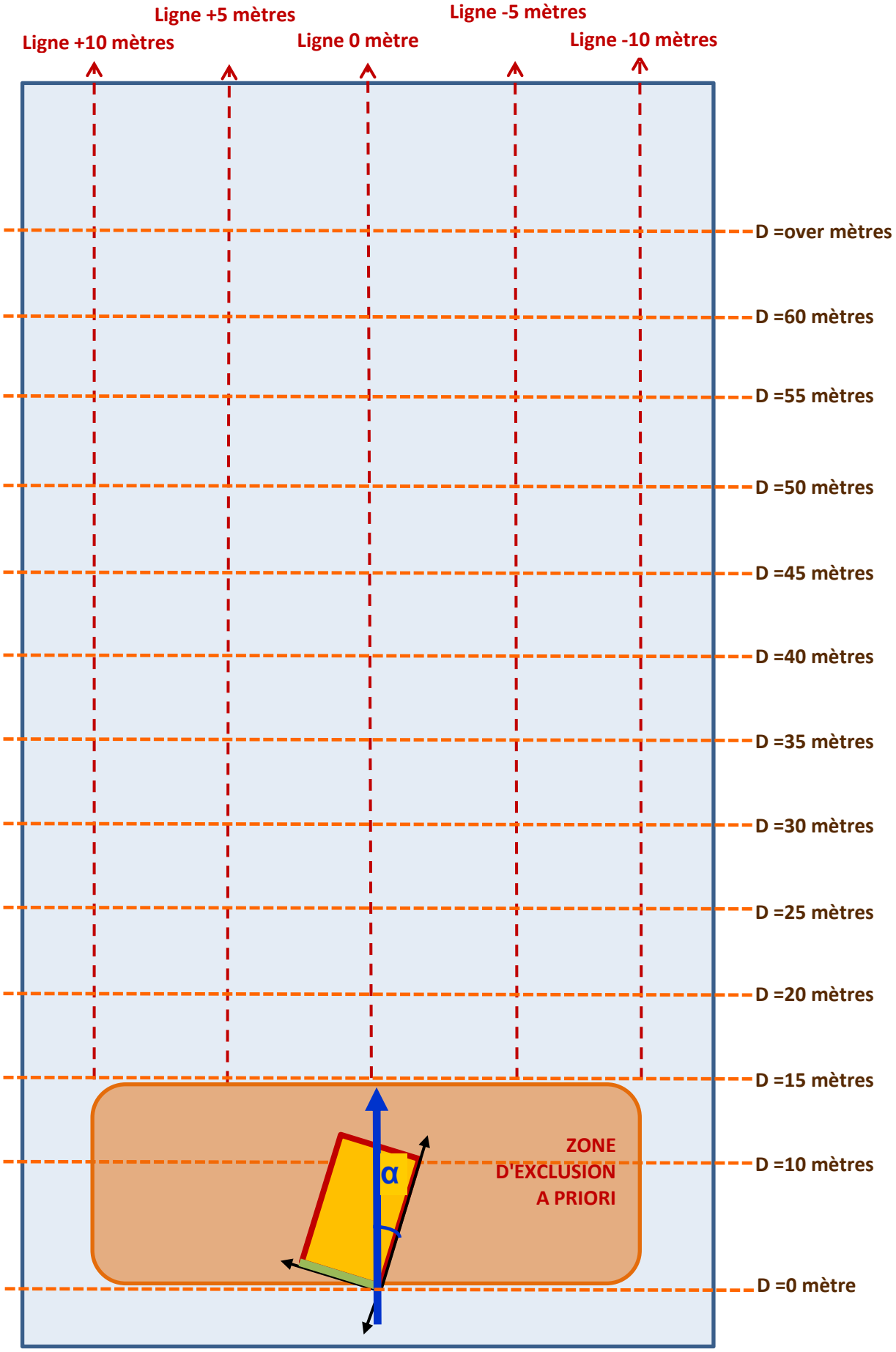




SO2 - angle alpha 30°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

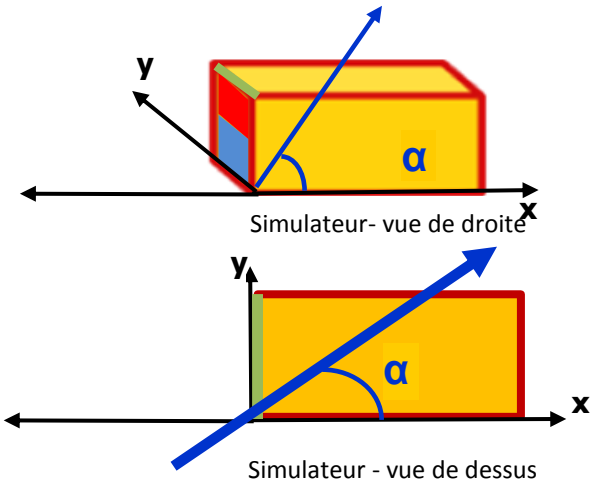
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 30 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

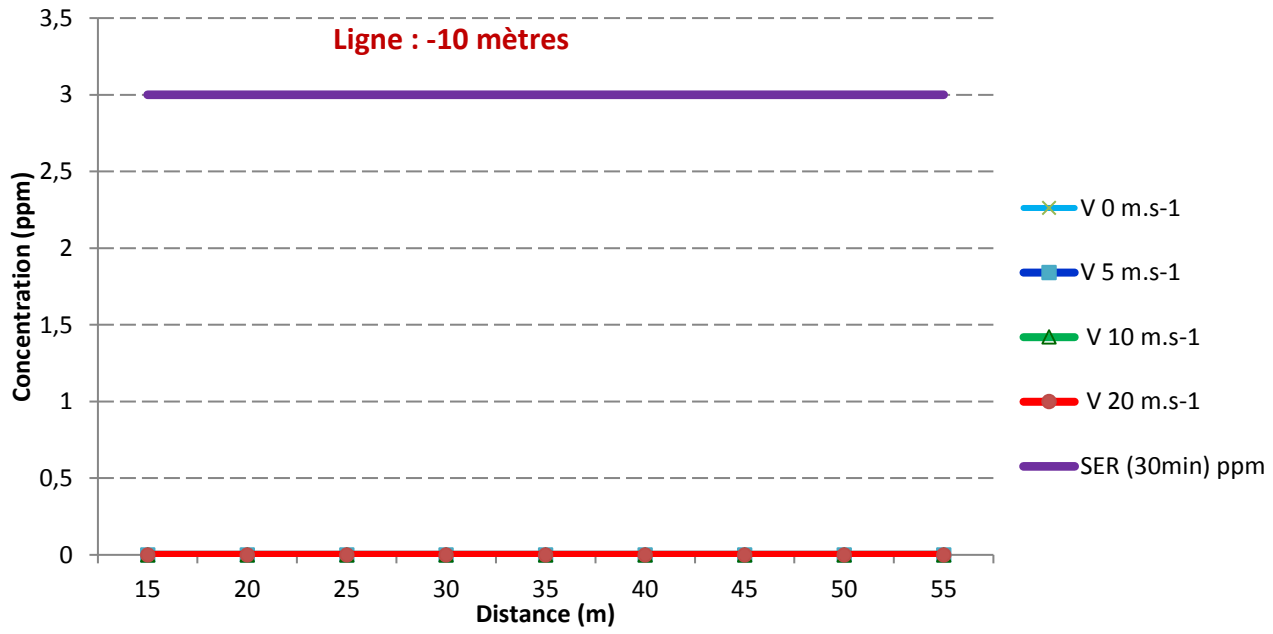


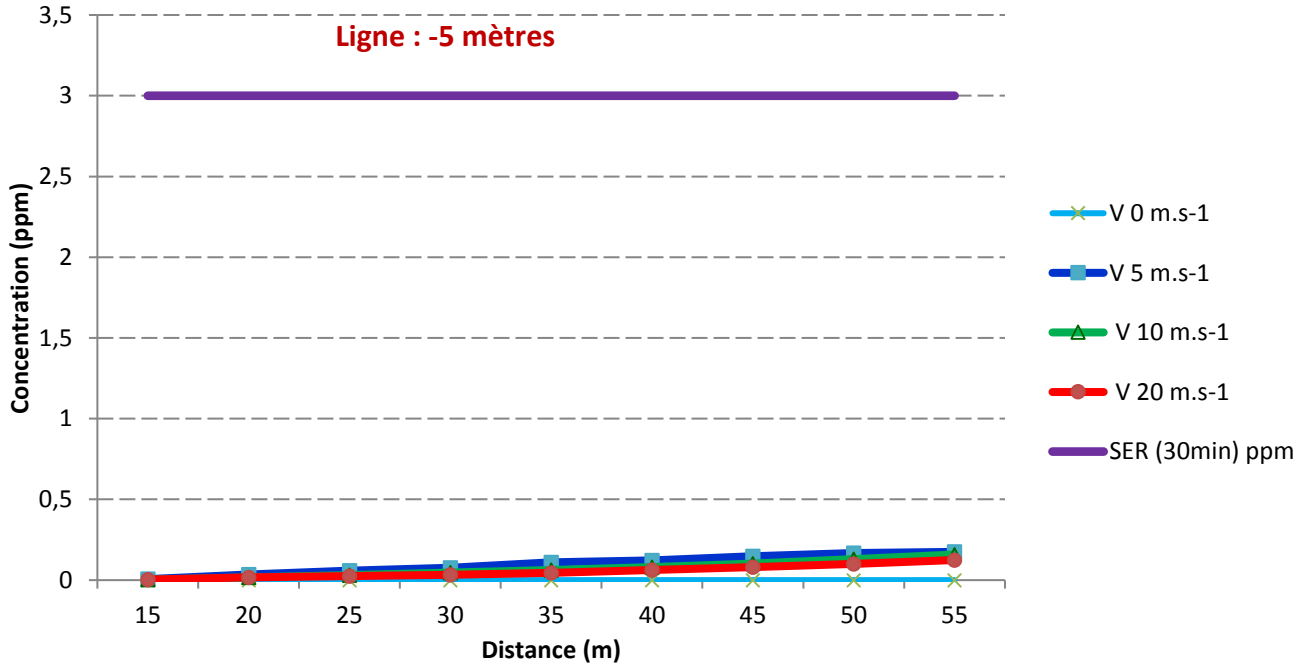
SO2 - angle alpha 30°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

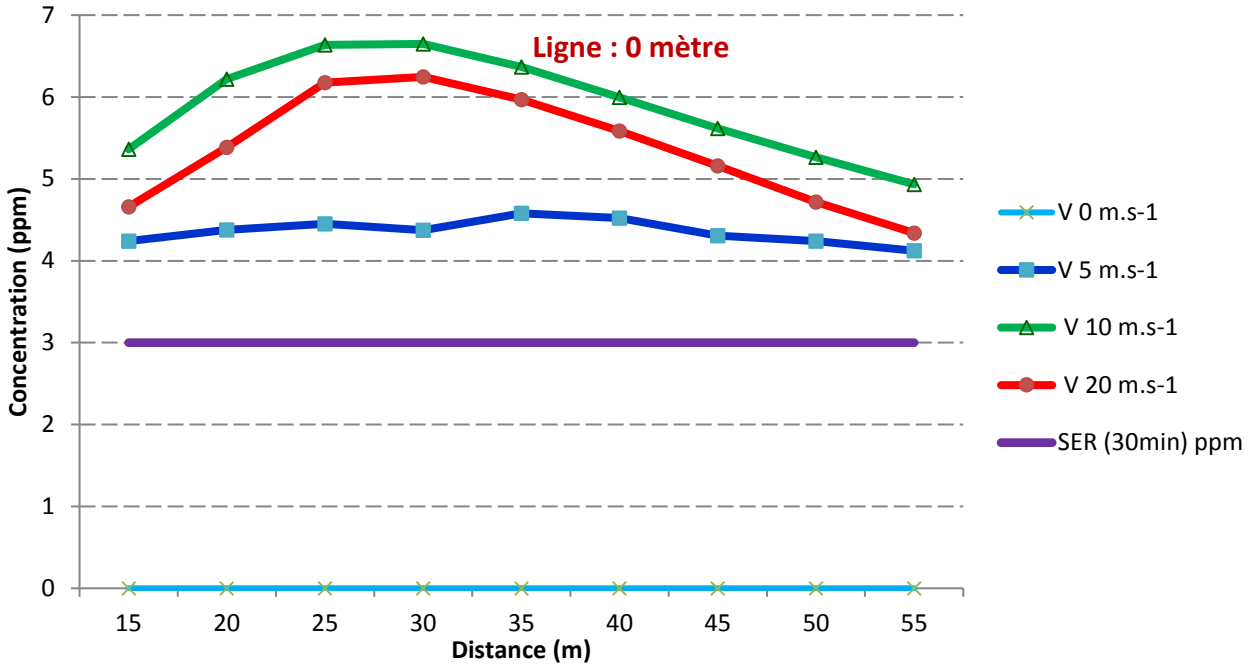
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 60 °

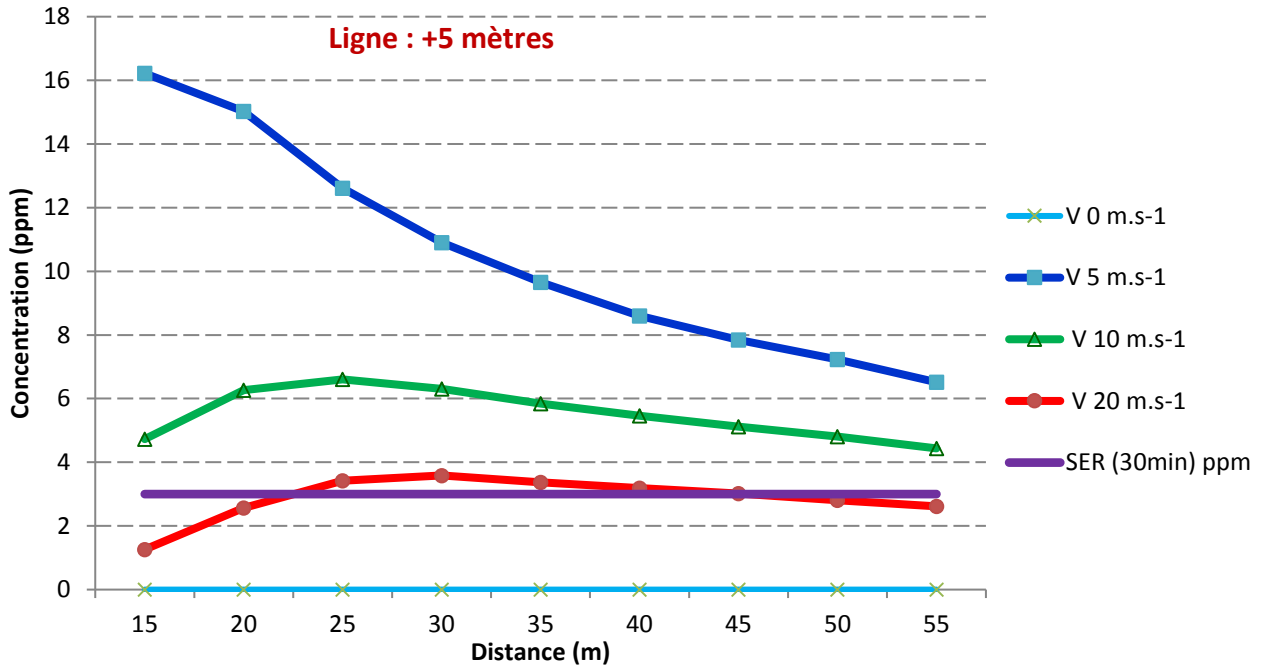


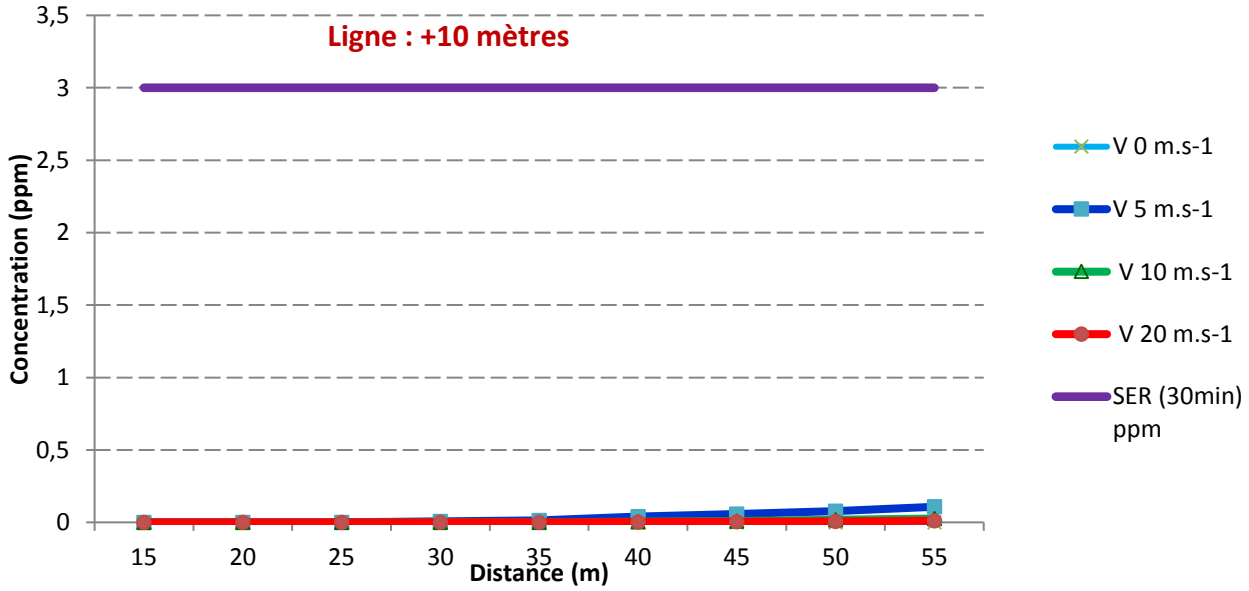




SO2 - angle alpha 60°



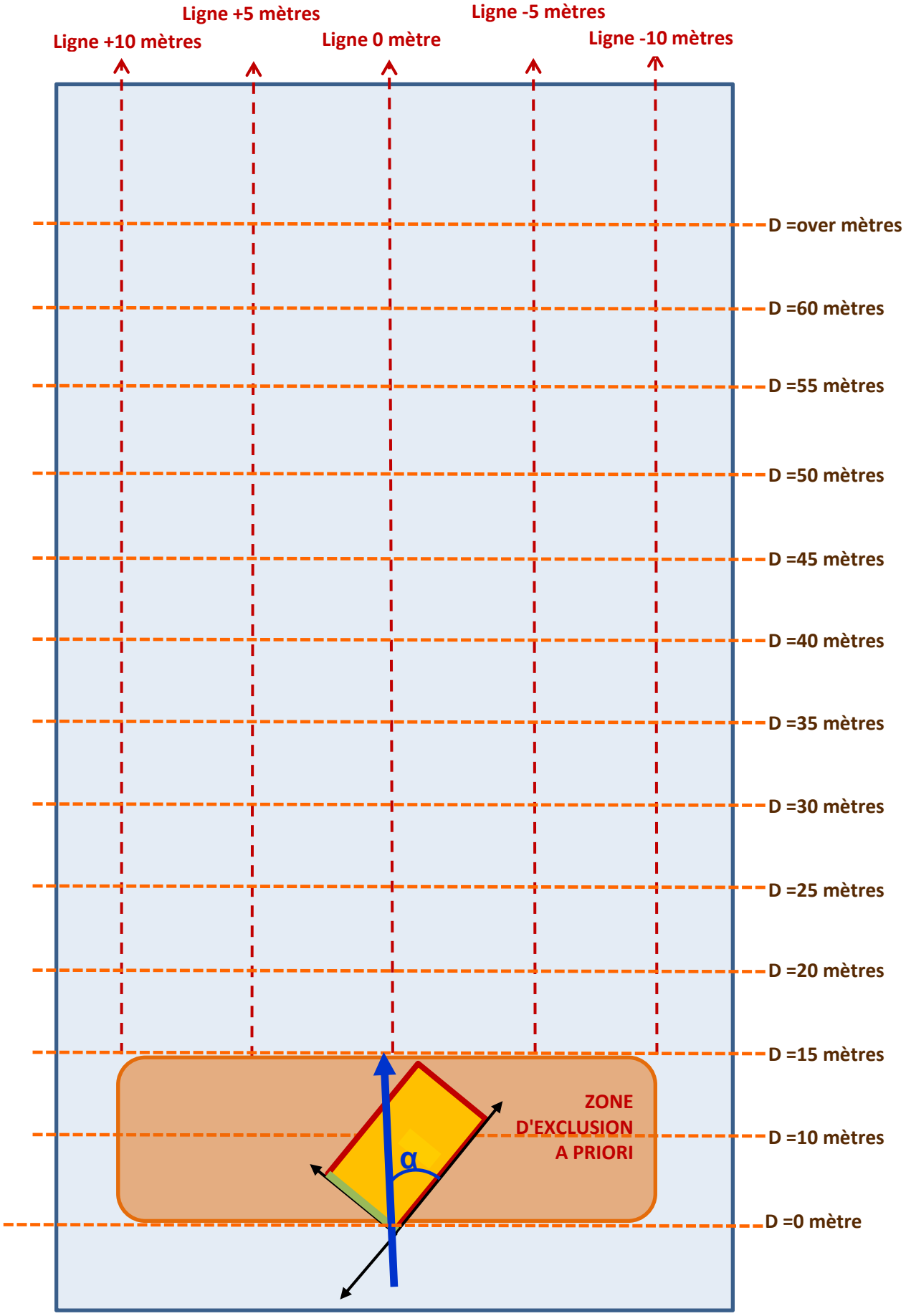




SO2 - angle alpha 60°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

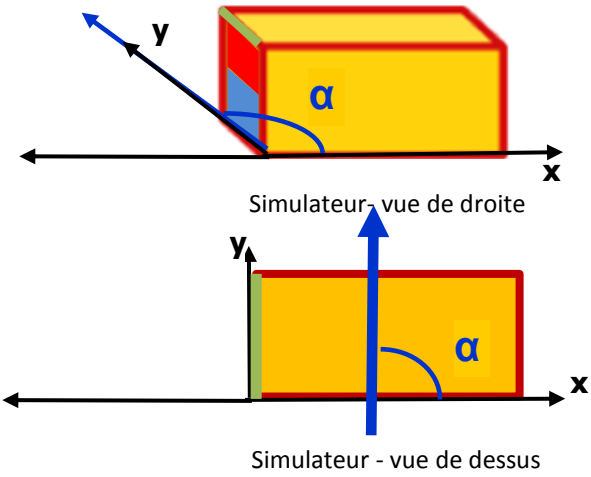
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 60 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

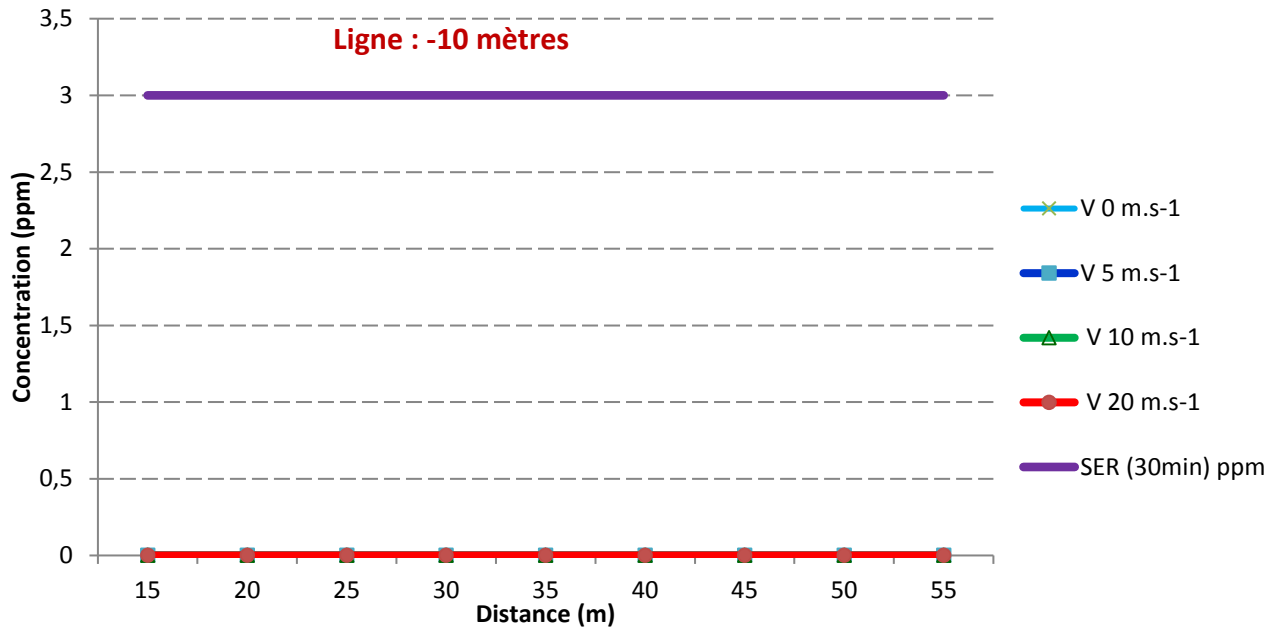


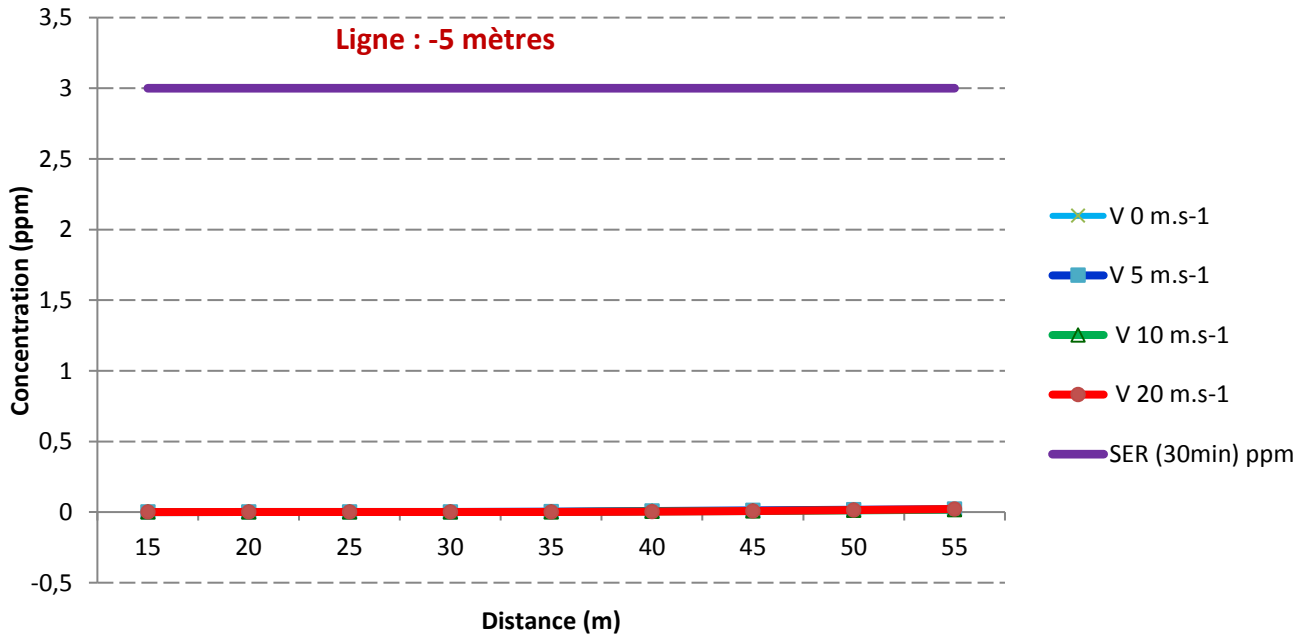
SO2 - angle alpha 60°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

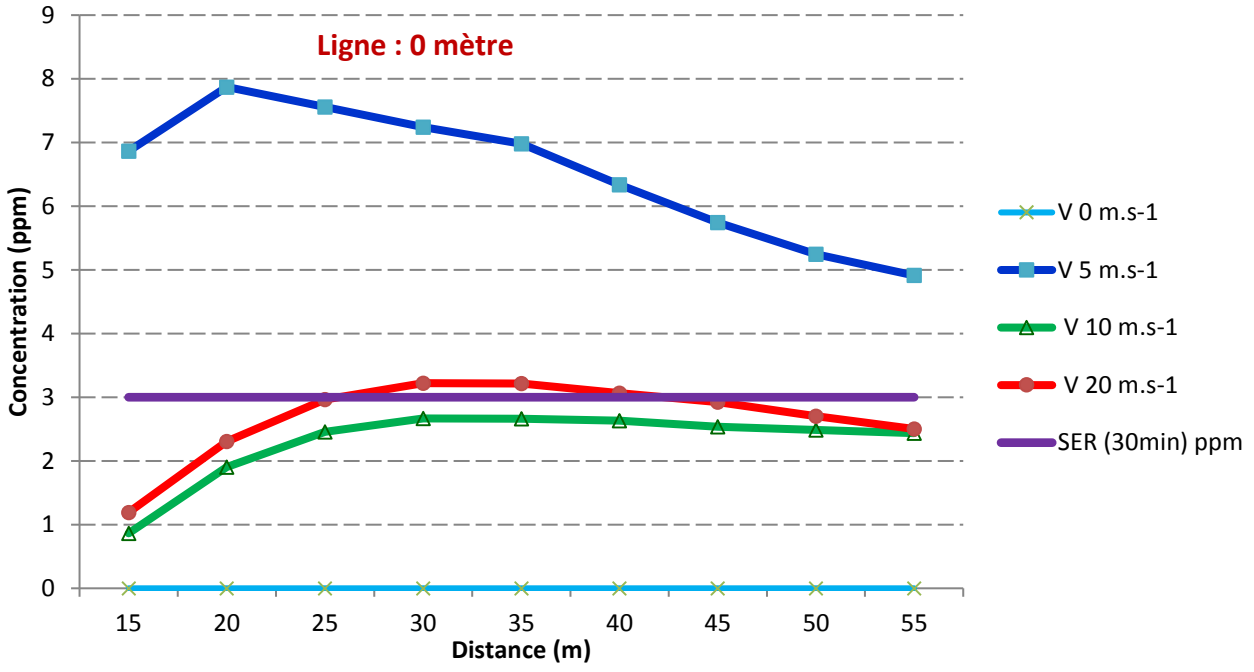
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α =90 °

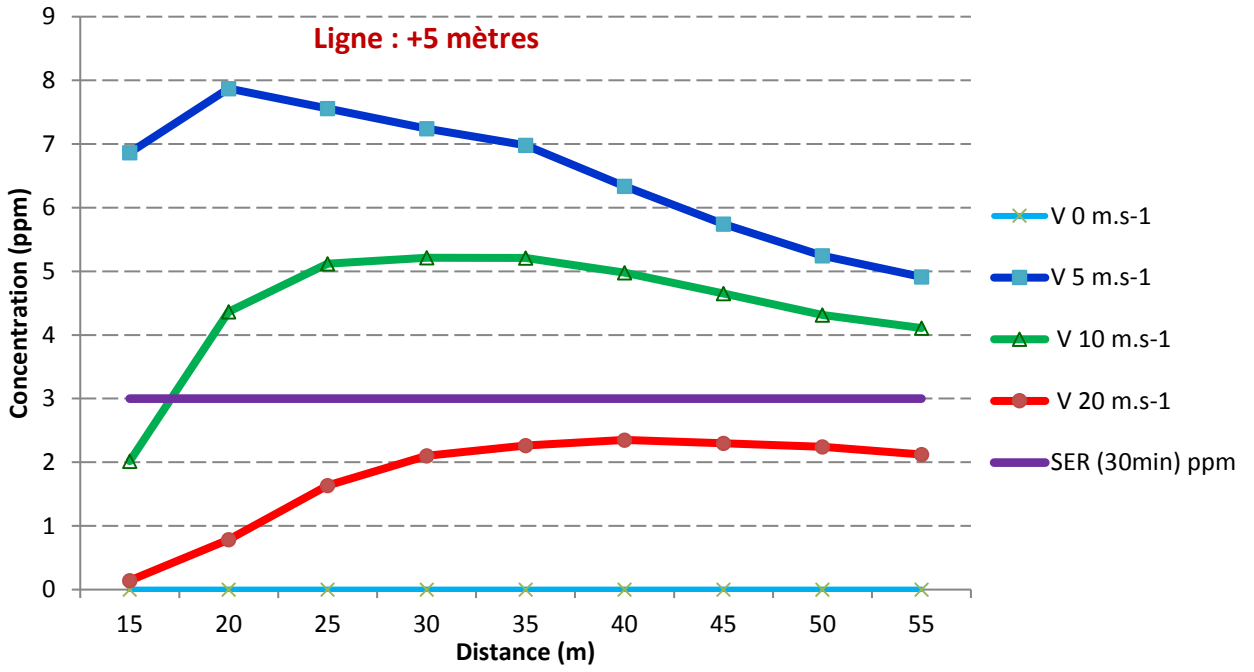


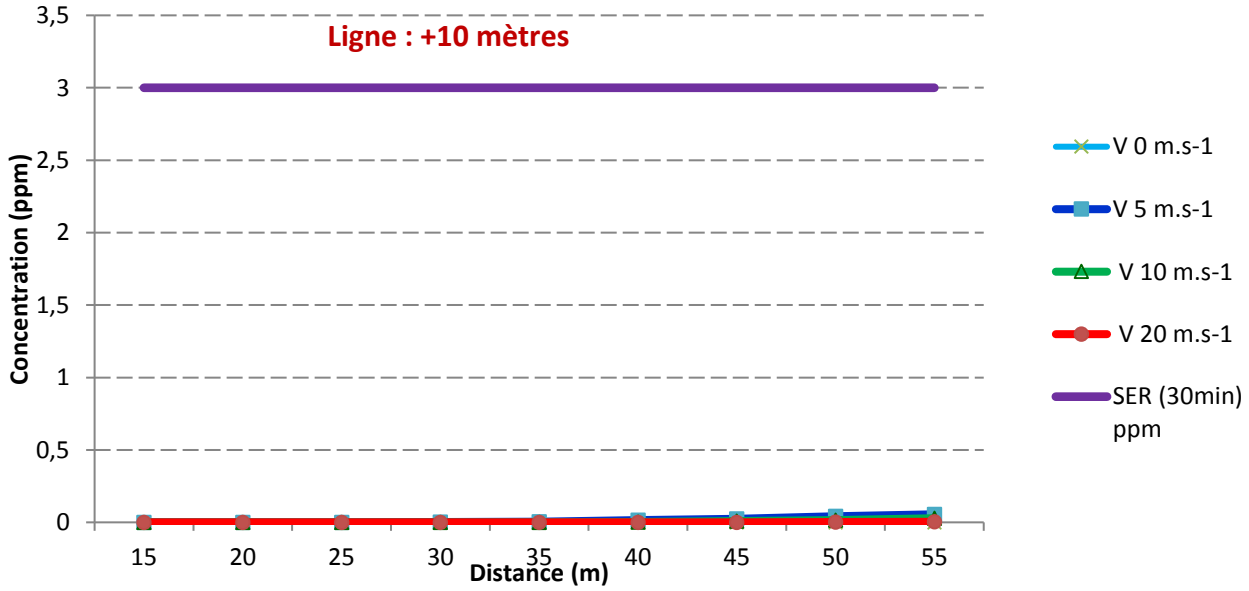




SO2 - angle alpha 90°



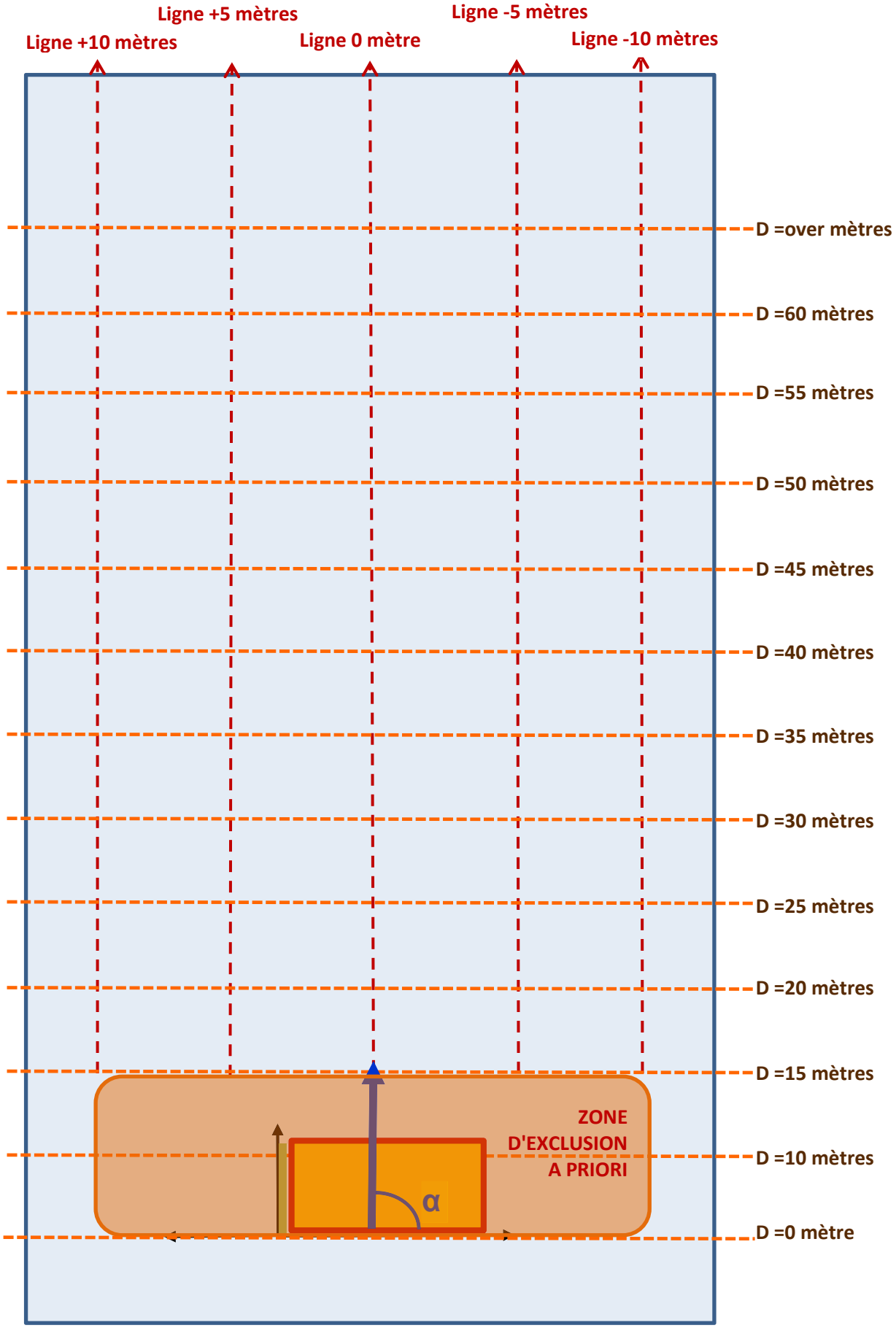




SO2 - angle alpha 90°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

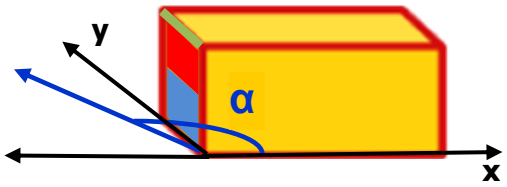
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 90 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



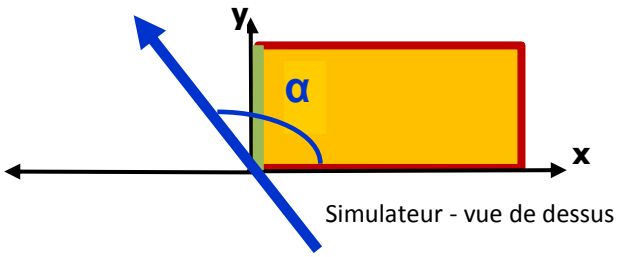
SO2 - angle alpha 90°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

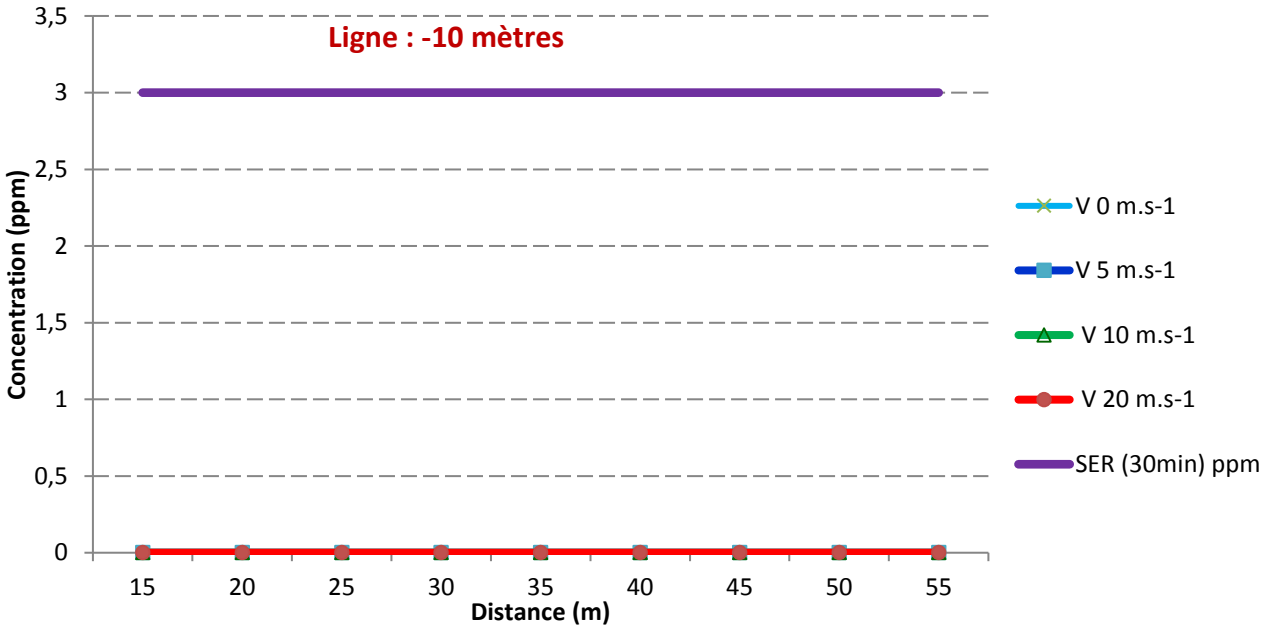
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 120 °

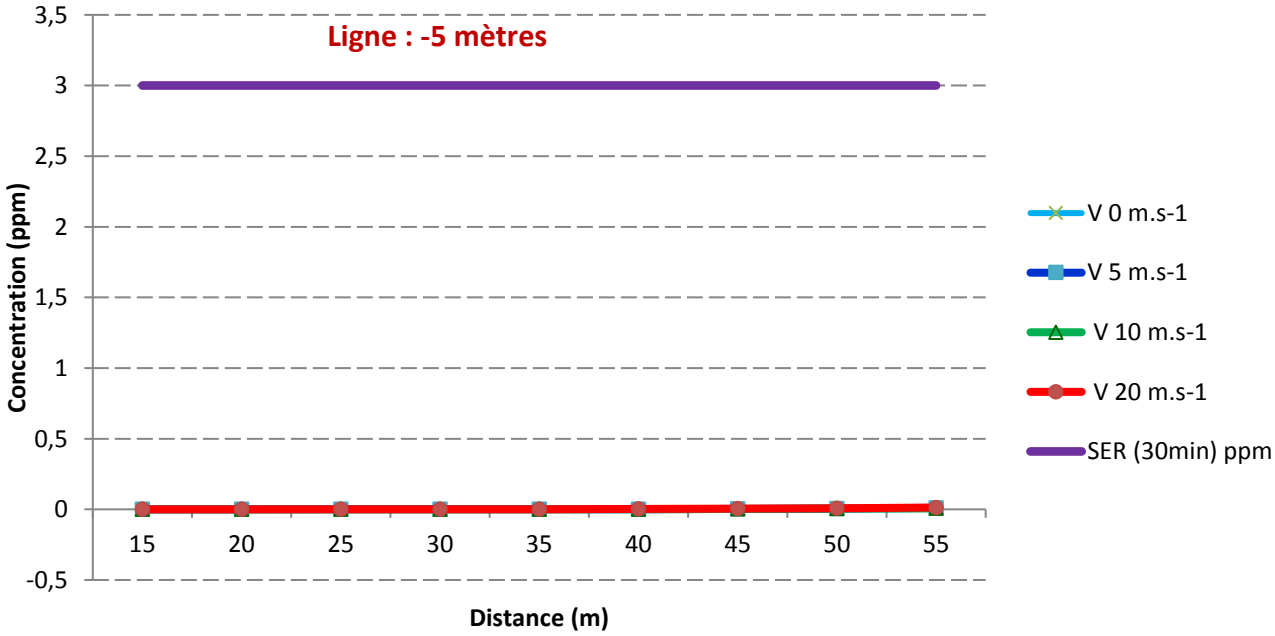


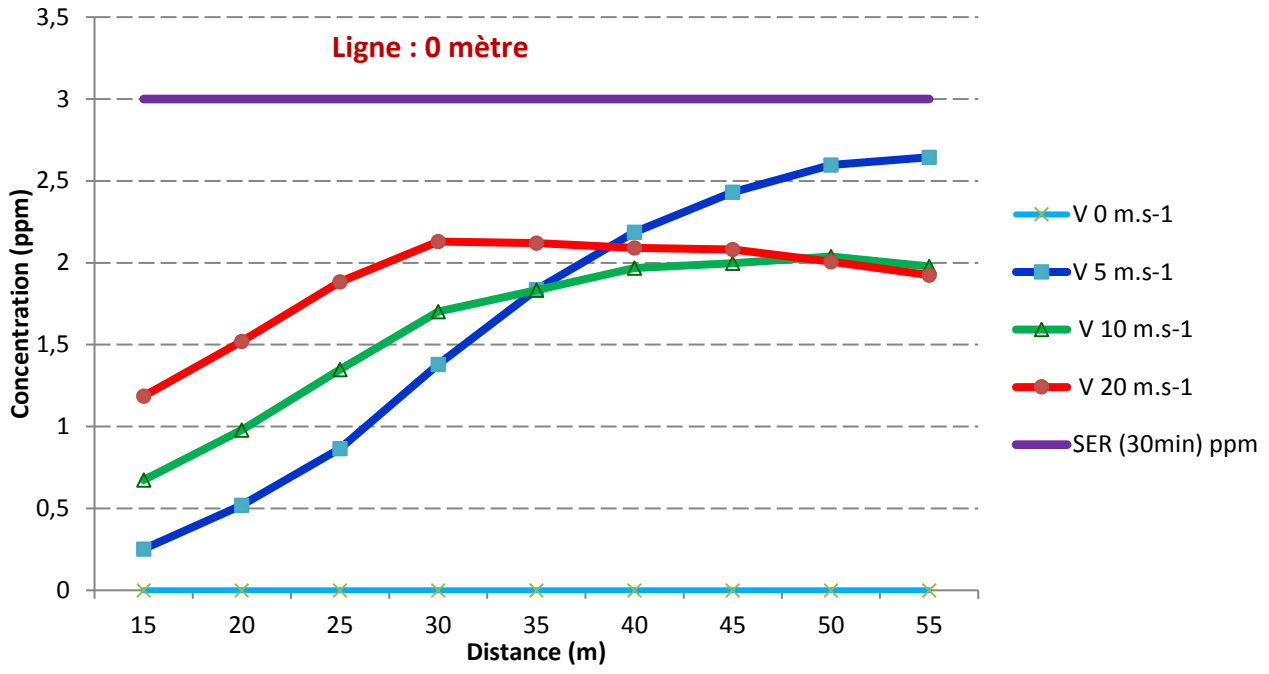
Simulateur- vue de droite

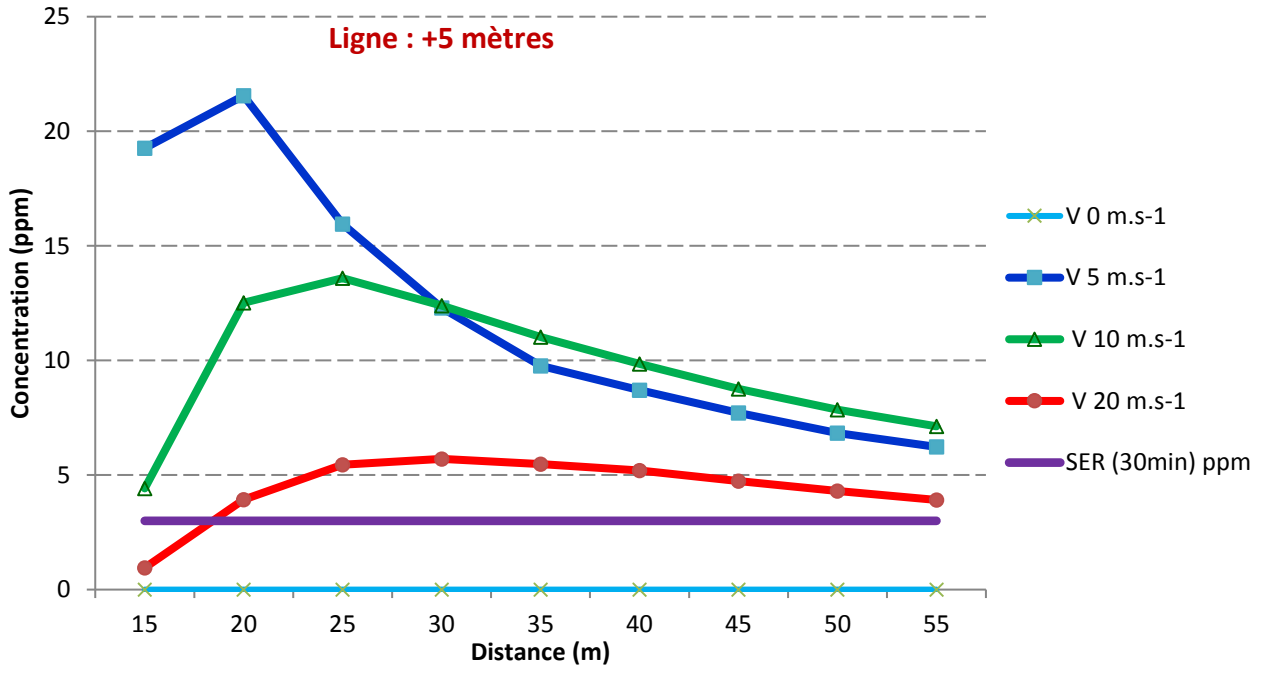


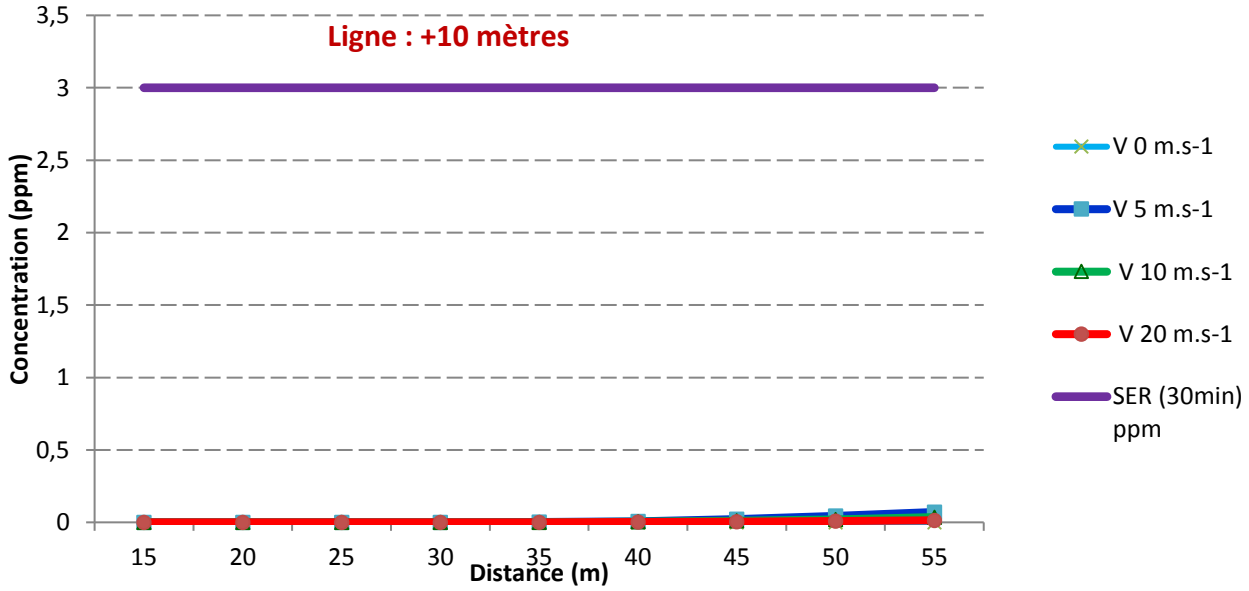
Simulateur - vue de dessus







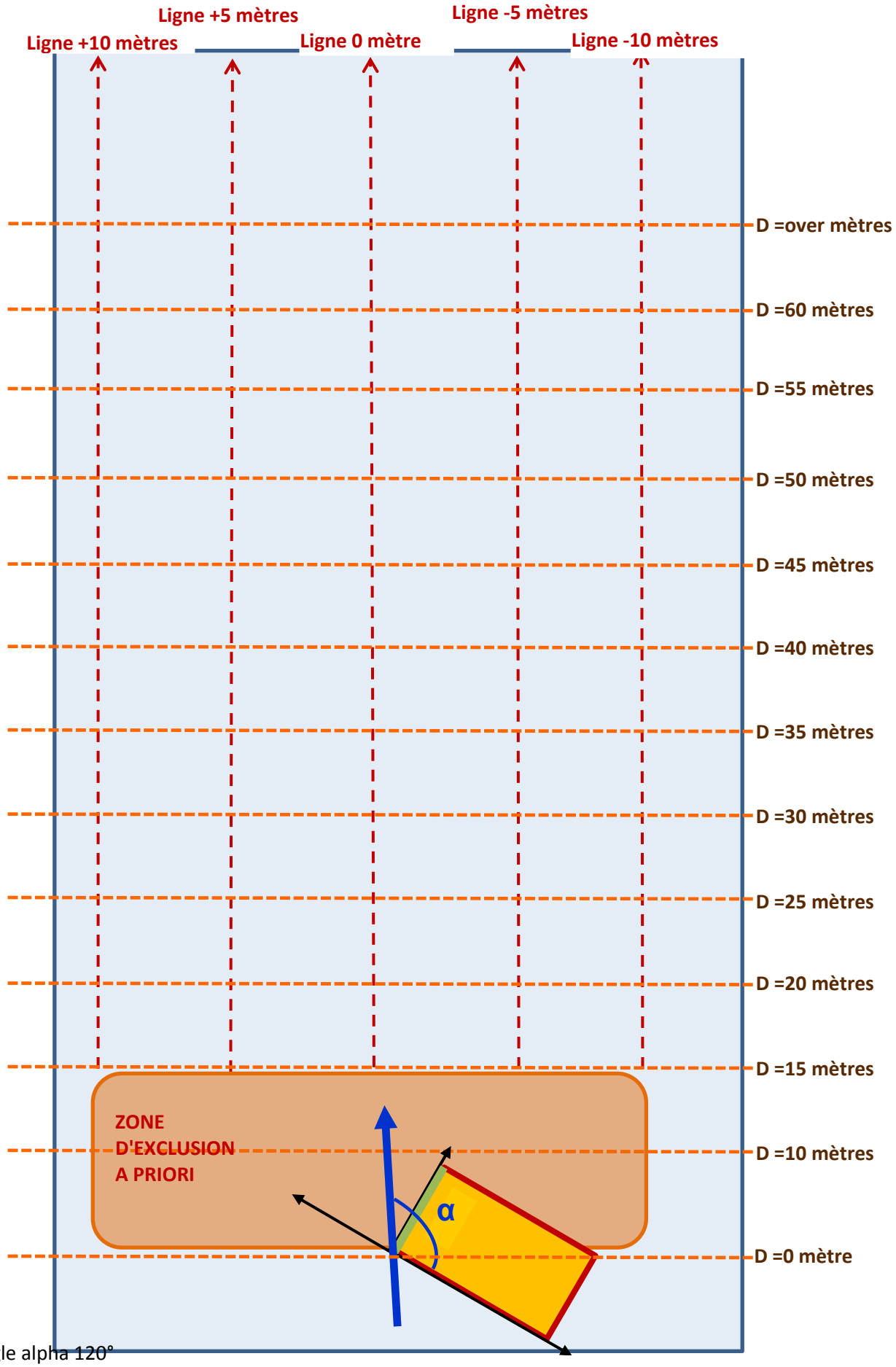




SO2 - angle alpha 120°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

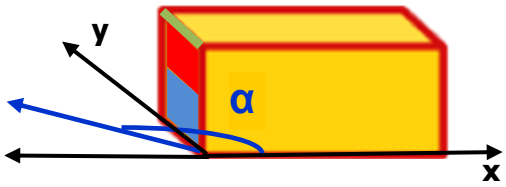
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 120 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



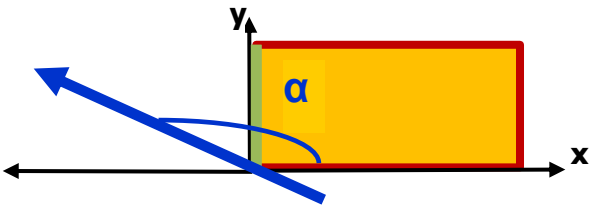
SO2 - angle alpha 120°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

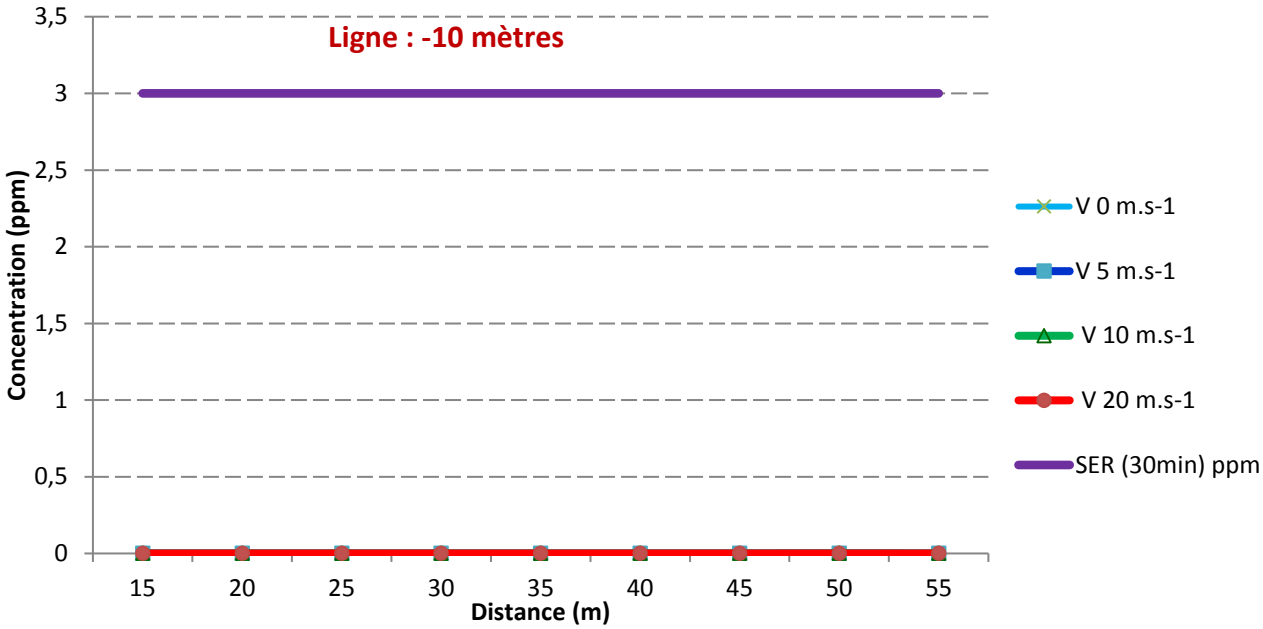
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 150 °

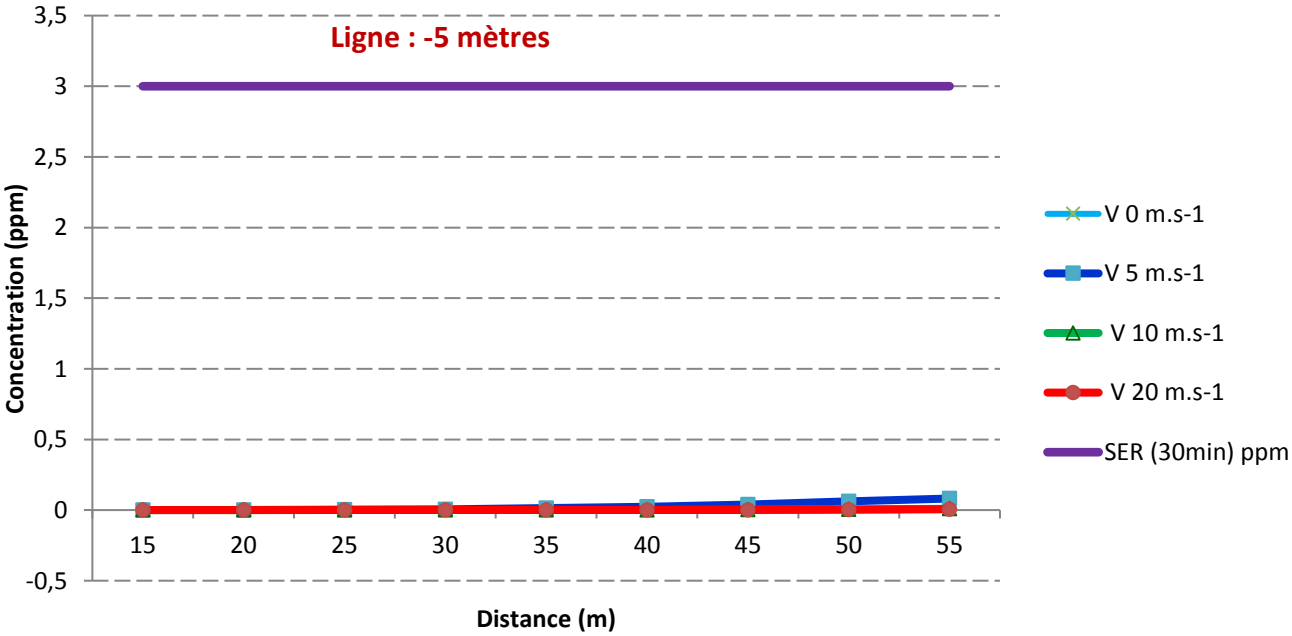


Simulateur- vue de droite

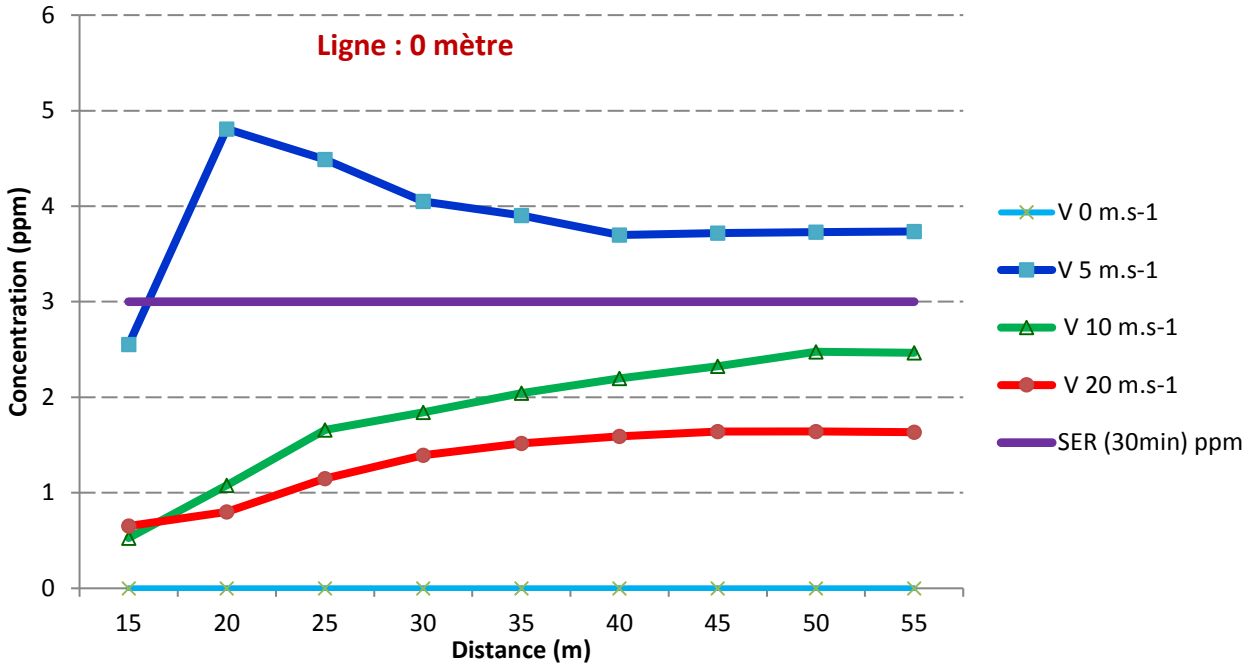


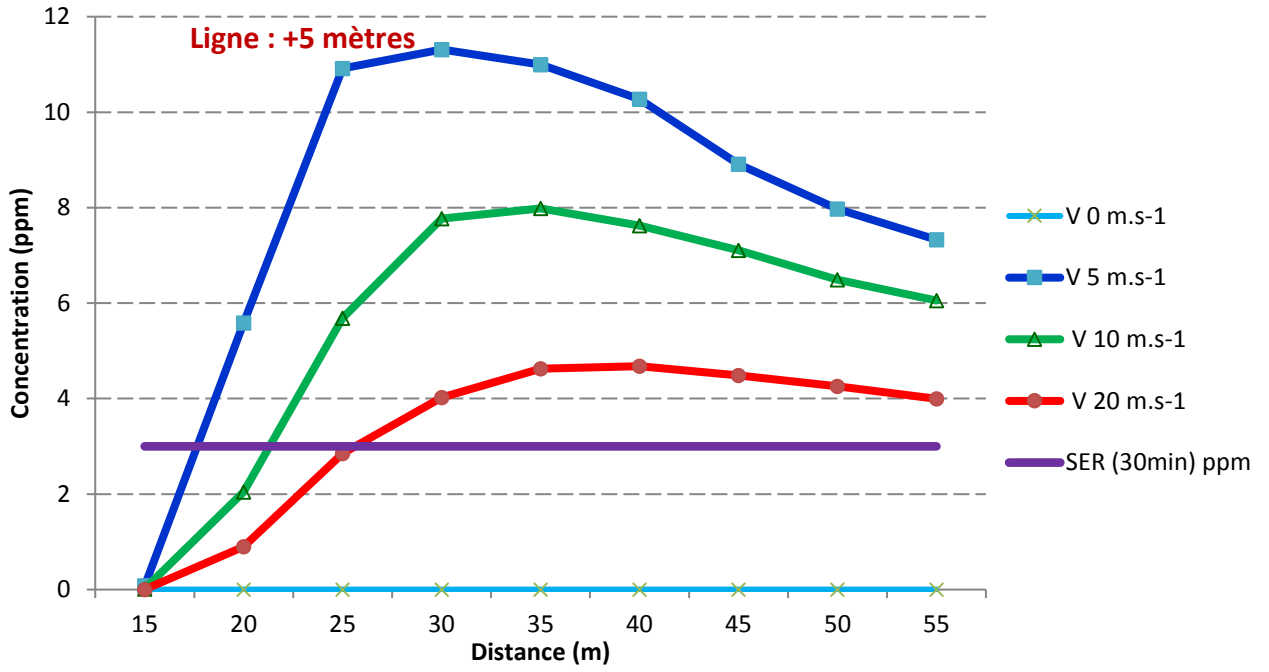
Simulateur - vue de dessus

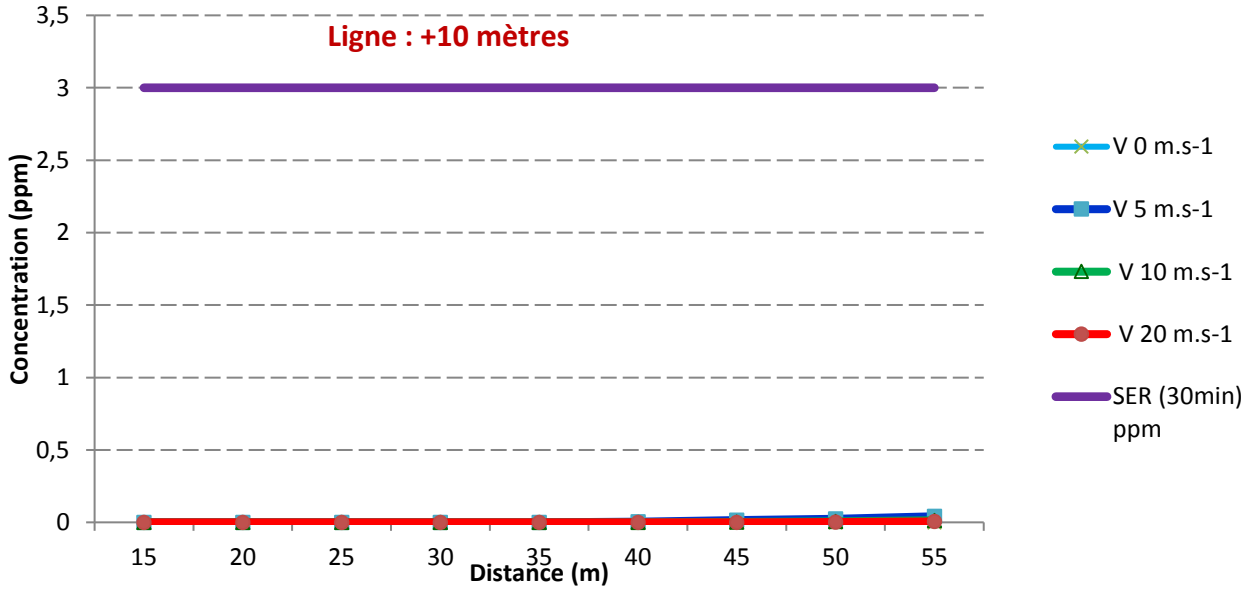




SO2 - angle alpha 150°



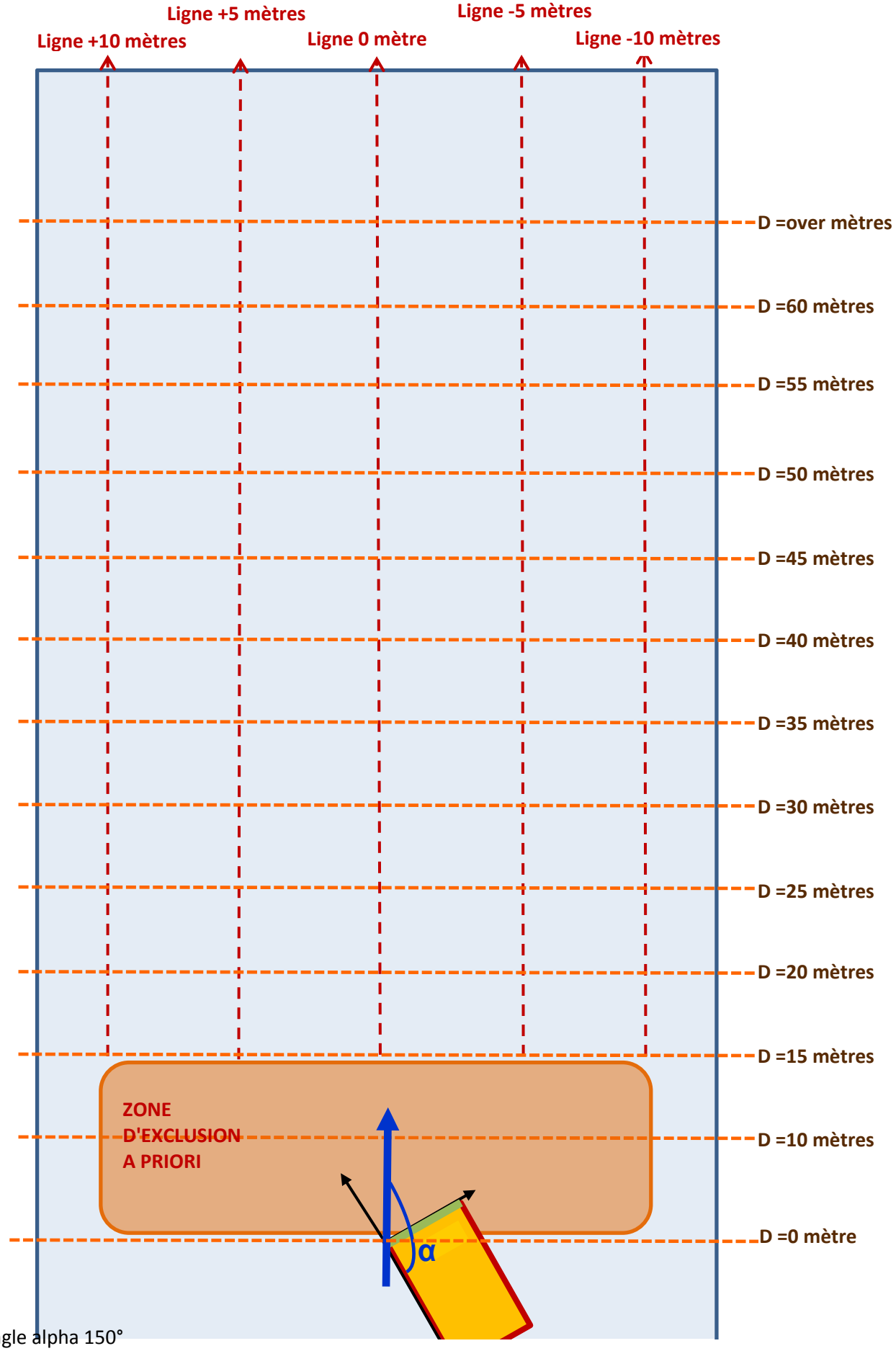




SO2 - angle alpha 150°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

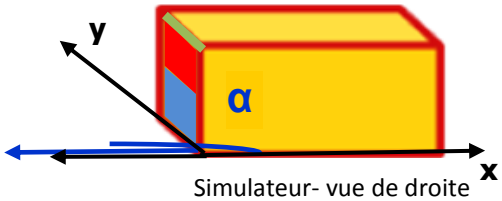
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 150 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



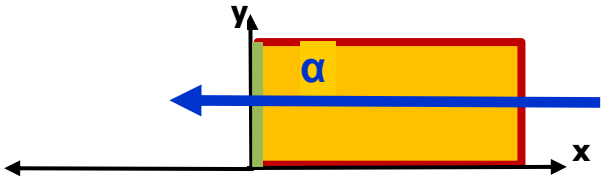
SO2 - angle alpha 150°

Concentration de SO2 émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

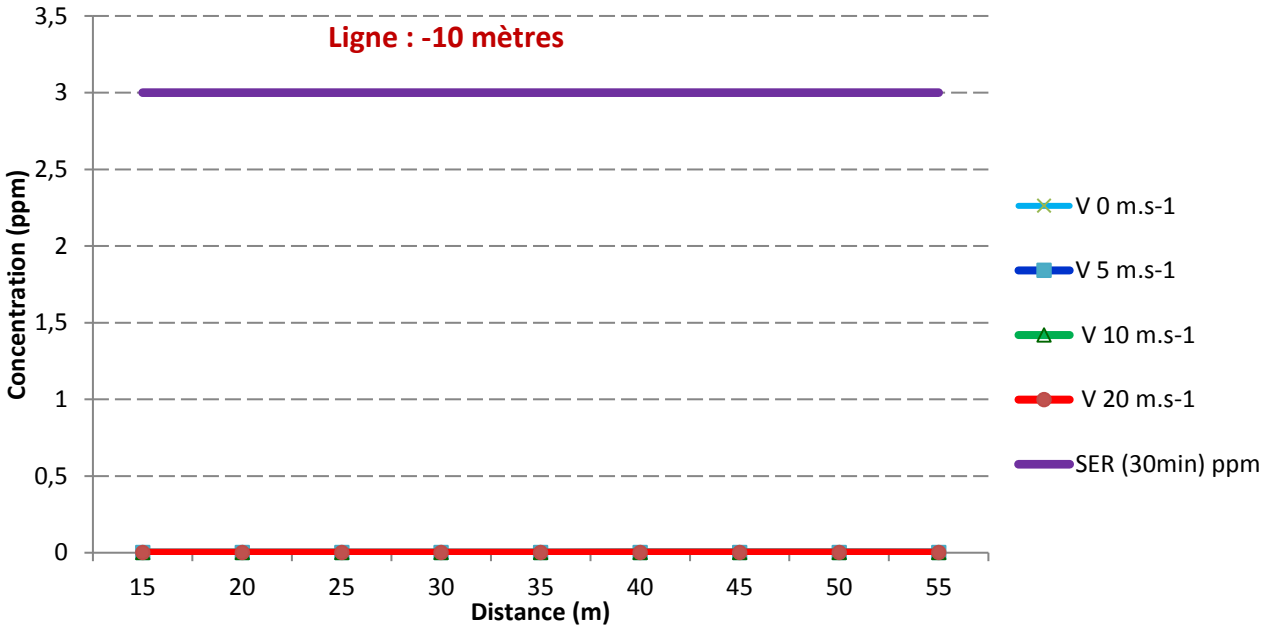
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 180 °

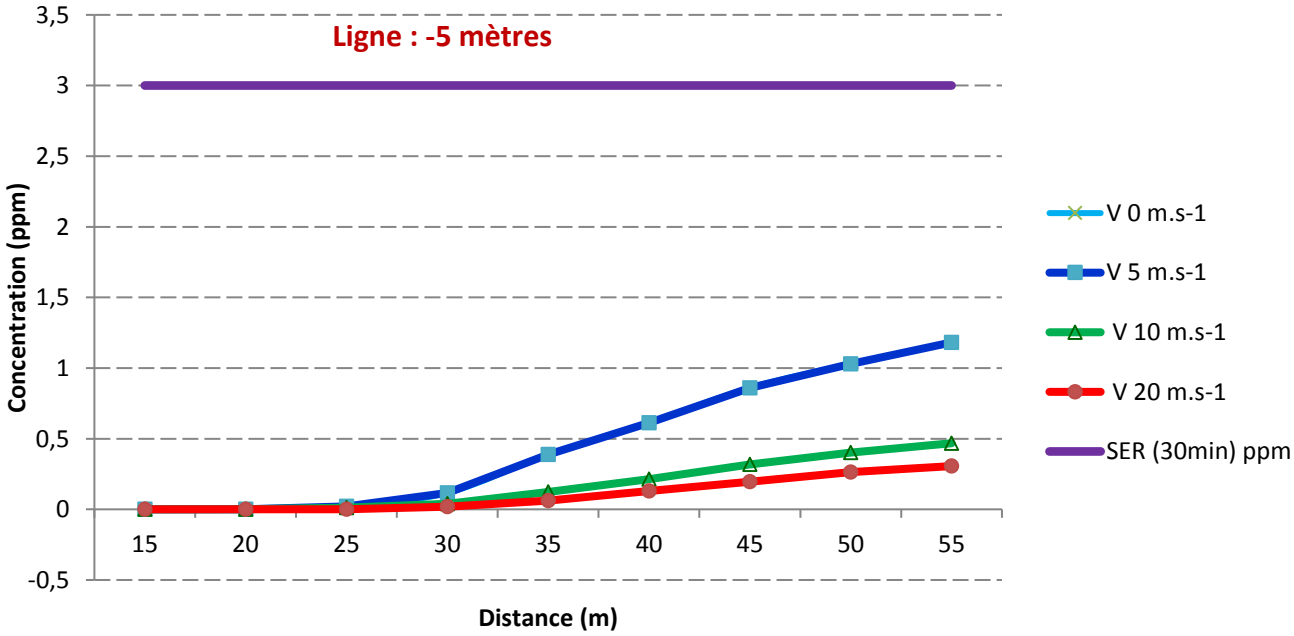


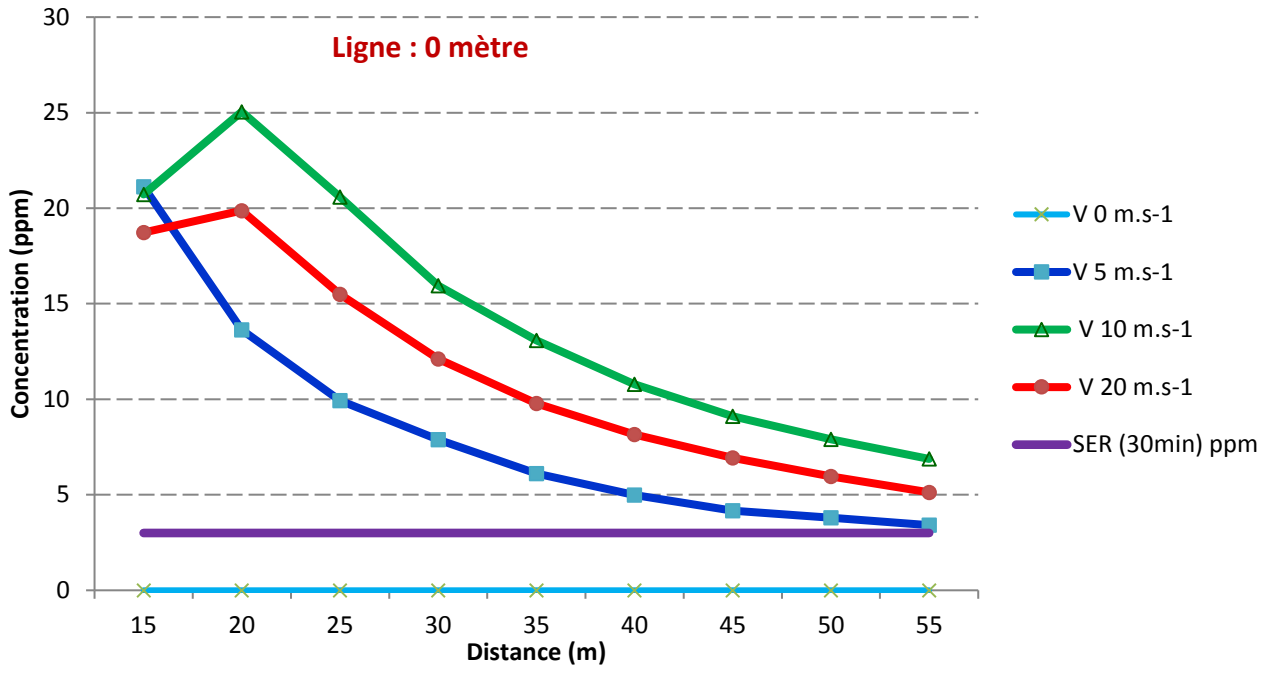
Simulateur- vue de droite

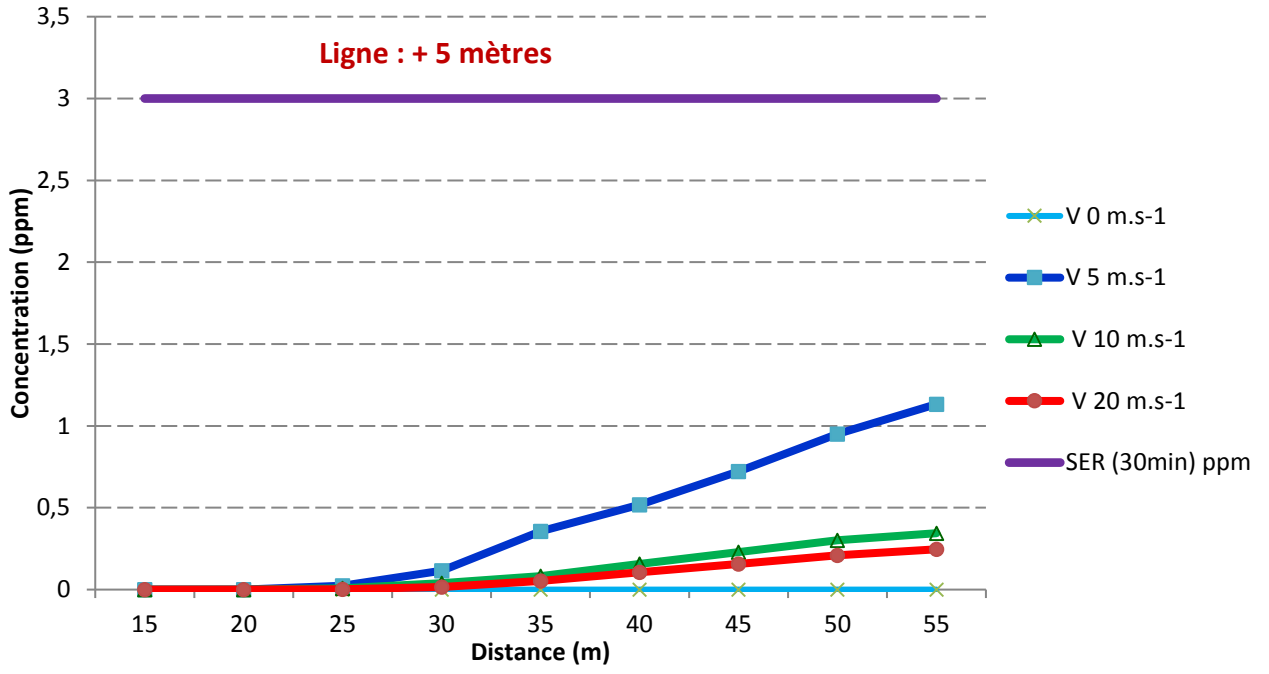


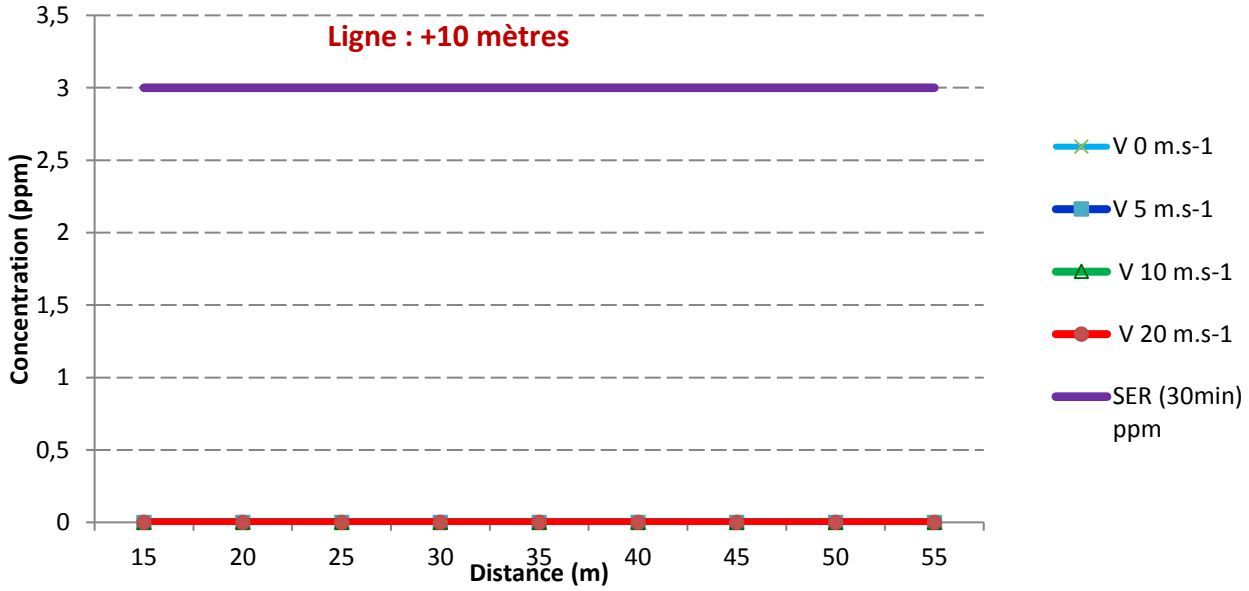
Simulateur - vue de dessus







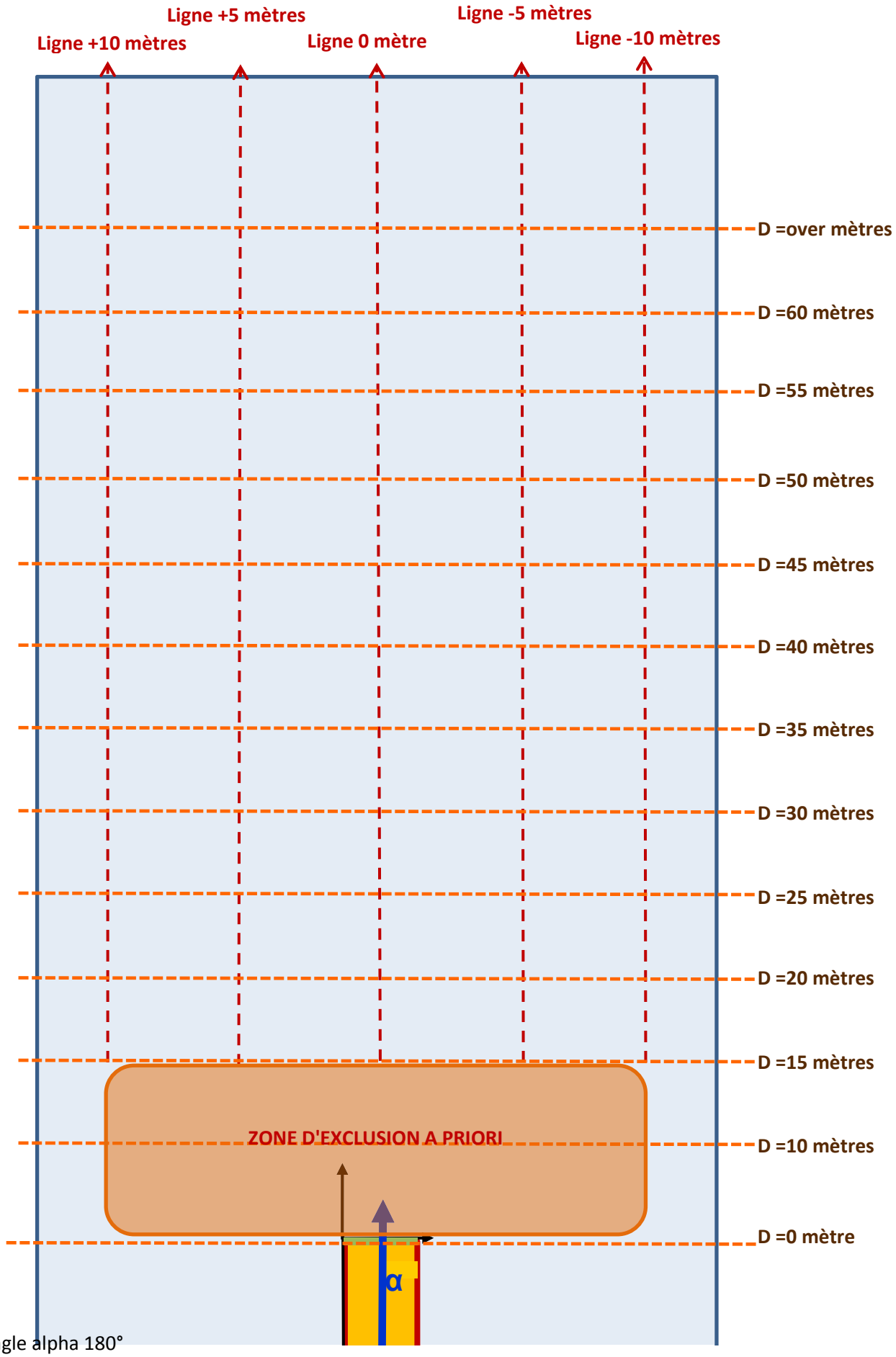




SO2 - angle alpha 180°

Traçage du zonage toxicologique SO2 mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 180 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



SO2 - angle alpha 180°

ANNEXE 3

Outil de zonage toxicologique NOx

Zonage toxicologique des NOx émis par le simulateur feu

- Choix de la valeur toxicologique :

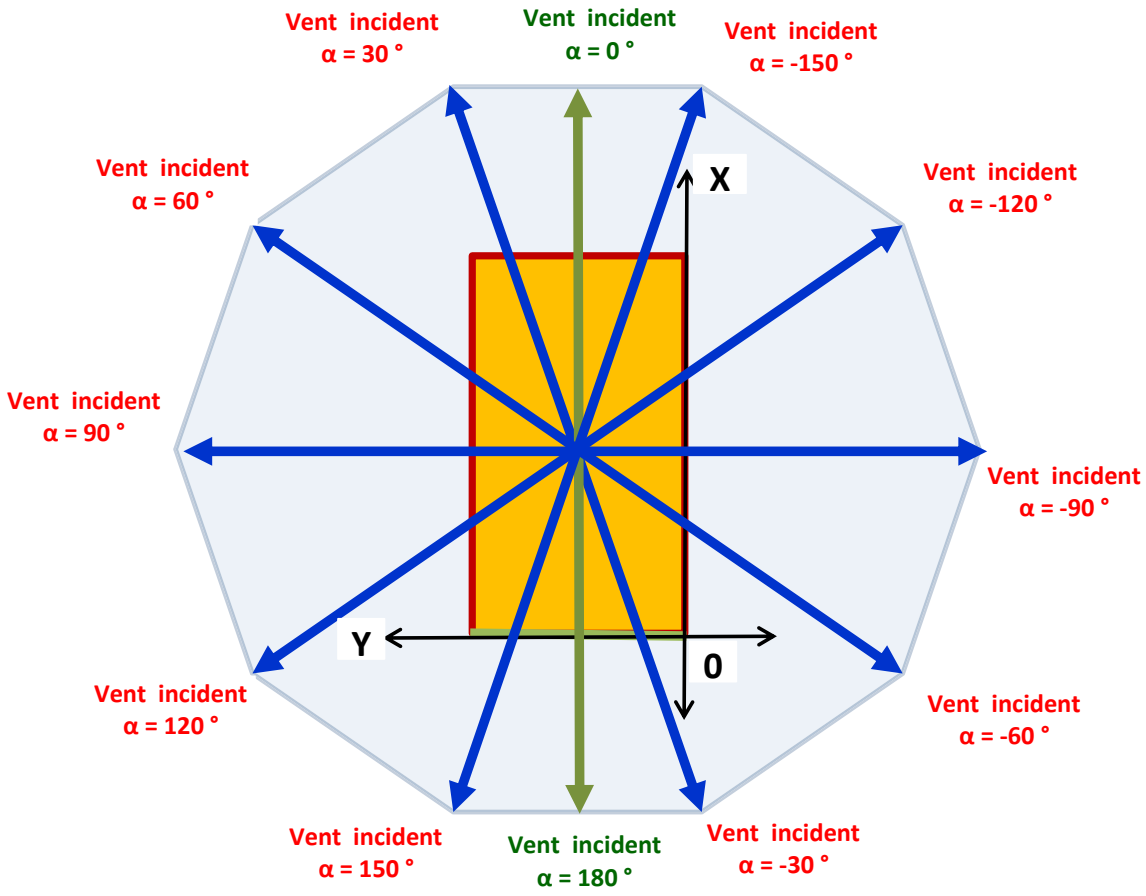
- Durée d'un brûlage : environ 30 minutes donc choix de valeurs toxicologiques à 30 minutes,
- NOx = NO + NO2 essentiellement avec une majorité de NO,
- Cependant: absence de SER 30 minutes pour le NO,
- Existence de SER 30 minutes pour le NO2 à 5 ppm,
- Toxicité NO < toxicité NO2,
- Valeur retenue SER 30 minutes du NO2. Les valeurs modélisées seront donc comparées à une valeur toxicologique majorante.

- Conditions de la simulation réalisée avec Fire Dynamic Simulator :

- Température : 25 °C,
- Hygrométrie : 40 %,
- Hauteur de la mesure toxicologique : 1,80 mètre.

- Utilisation de l'outil de zonage toxicologique :

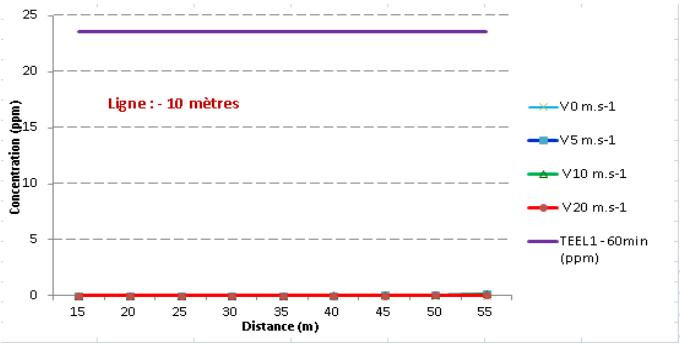
1. Sélectionner l'onglet avec l'angle incident du vent par rapport à l'entrée du simulateur feu (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). Se reporter à la rosace des vents :



2. Déterminer la vitesse du vent (0, 5, 10 15, 20 m.s-1),
3. Pour chaque ligne de calcul verticale (-10 mètres, -5 m, 0 m; +5m, +10m), déterminer sur le graphique correspondant la distance pour laquelle le seuil toxicologique sera atteint,
4. Reporter chacune de ces valeurs sur les 5 lignes de la cartographie toxicologique,
5. Tracer la plume correspondante en reliant les points,
6. Réaliser ce travail pour les NOx, le SO2, CO, les suies,
7. En déduire un zonage toxicologique général d'exclusion par compilation des 4 données du point n°6,
8. En phase d'utilisation, les concentrations des toxiques HCN (AEGL1-30 min : 2,5 ppm) et HCl (AEGL1-30 min : 1,8 ppm) devront être prises en compte. Pour cela, des relevés de concentration, dans la zone d'exclusion définie ci-dessus, seront réalisés afin de s'assurer que ces derniers soient inférieurs aux seuils toxicologiques de références.

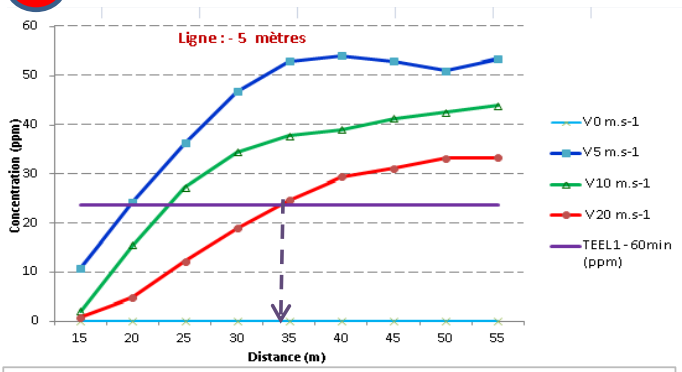
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

1



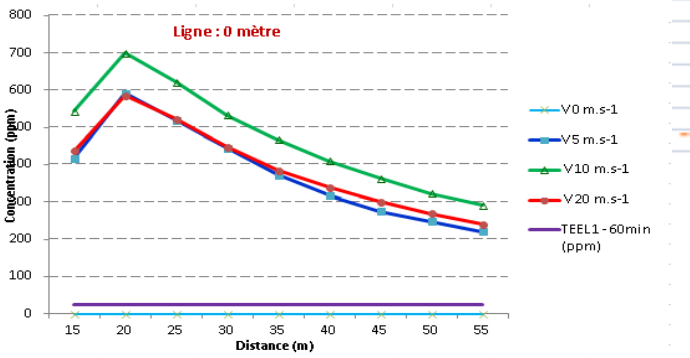
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne -10 m à la distance de 15 m.

2

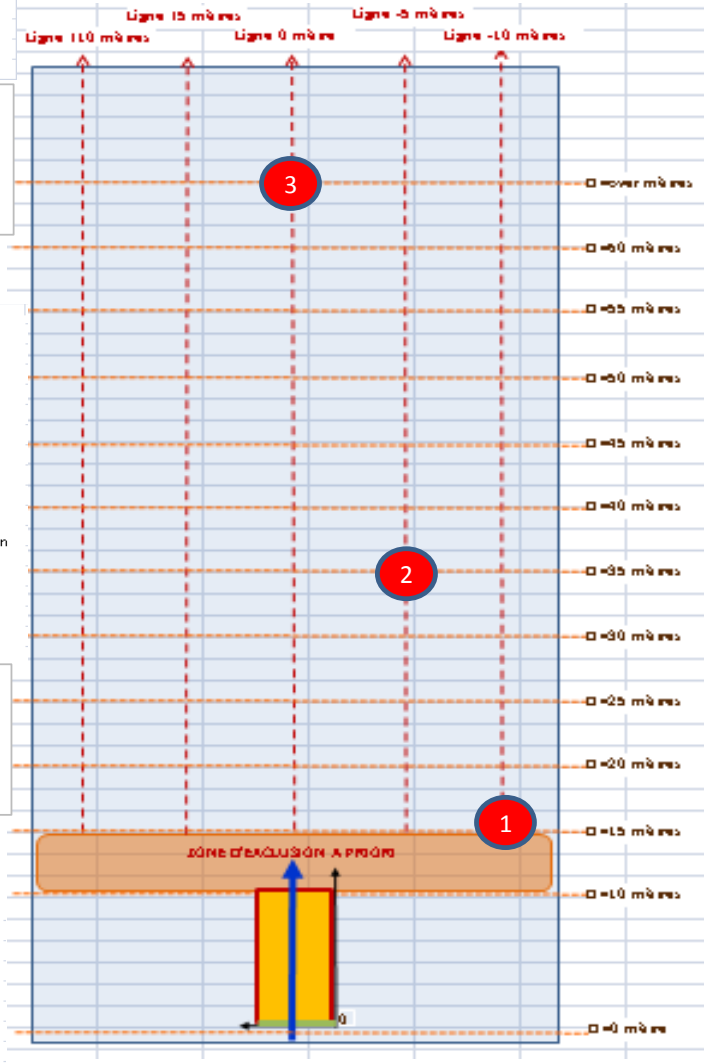


La concentration en toxiquesest atteinte pour la distance de 35 m.
Positionnement du point sur la ligne -5 m à la distance de 35 m.

3

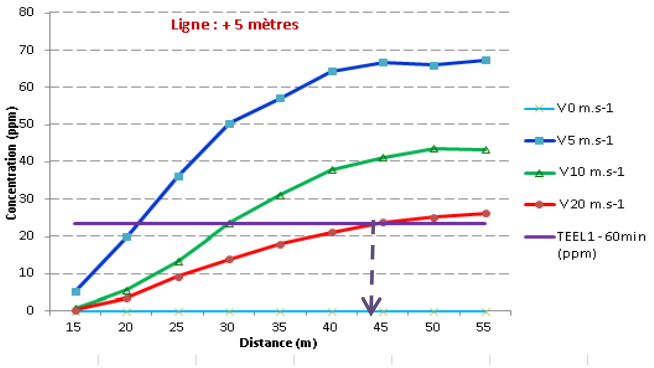


La concentration en toxique est dépassée de 15 m à 55 m.
Positionnement du point sur la ligne 0 m au delà de 55 m.



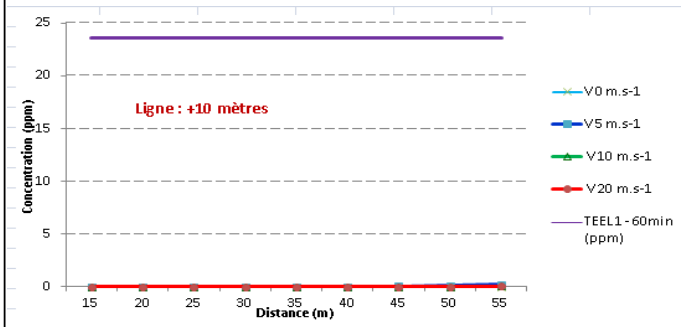
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

4

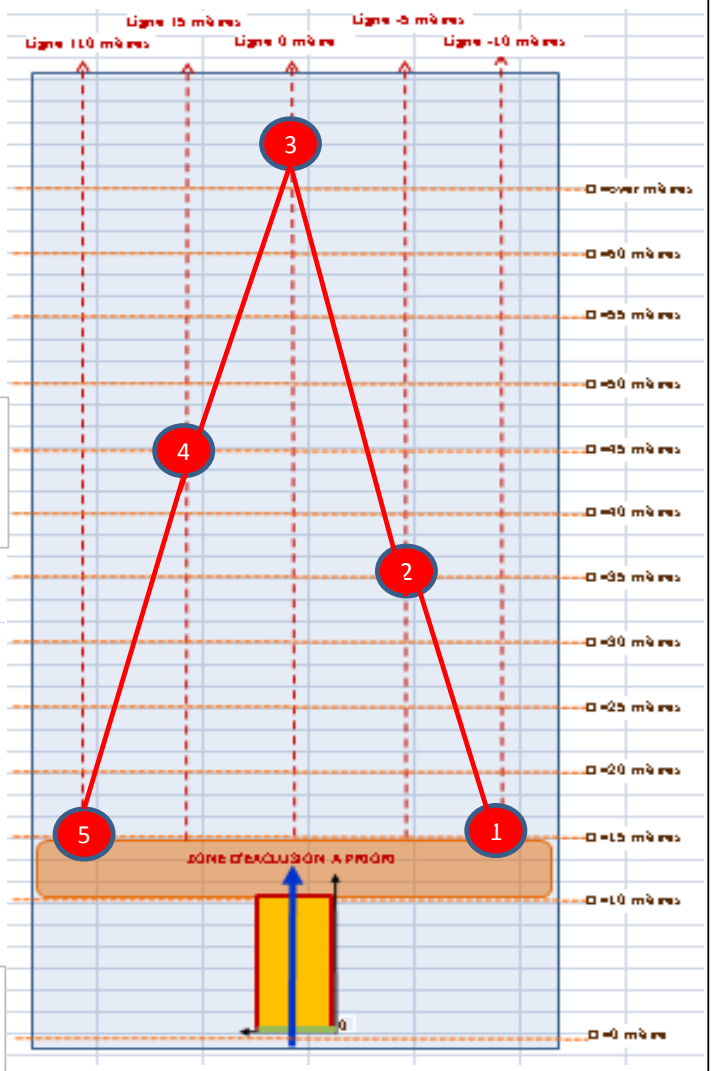


La concentration en toxiques est atteinte pour la distance de 45 m.
Positionnement du point sur la ligne +5 m à la distance de 45 m.

5



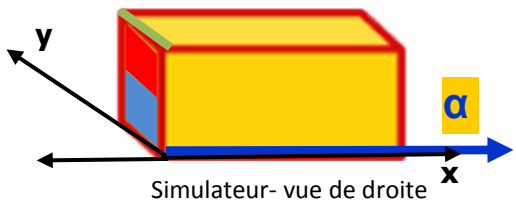
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne +10 m à la distance de 15 m.



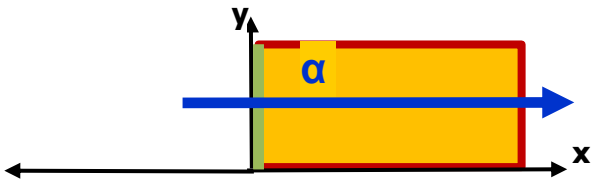
Finaliser l'outil pour le toxique considéré en reliant chaque point pour matérialiser la zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle aucune personne ne devra se trouver.
Les zones d'exclusion des 4 toxiques (NOx, SO2, CO et suies) devront être comparées afin de retenir la zone toxicologique majorante.

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

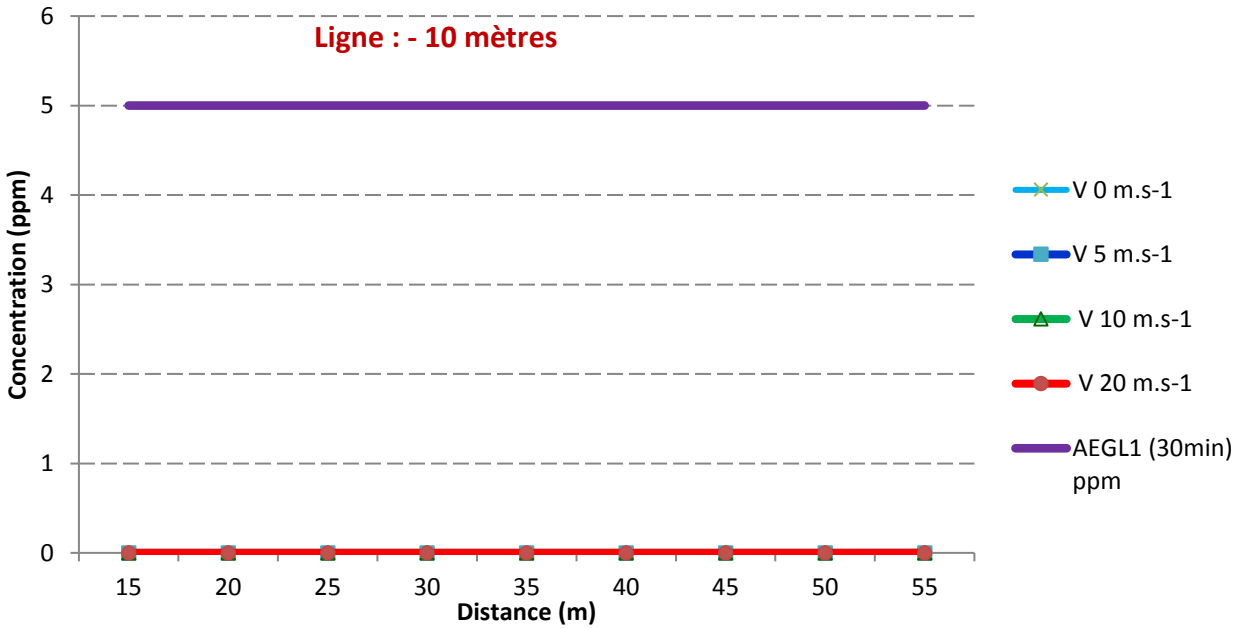
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 0 °

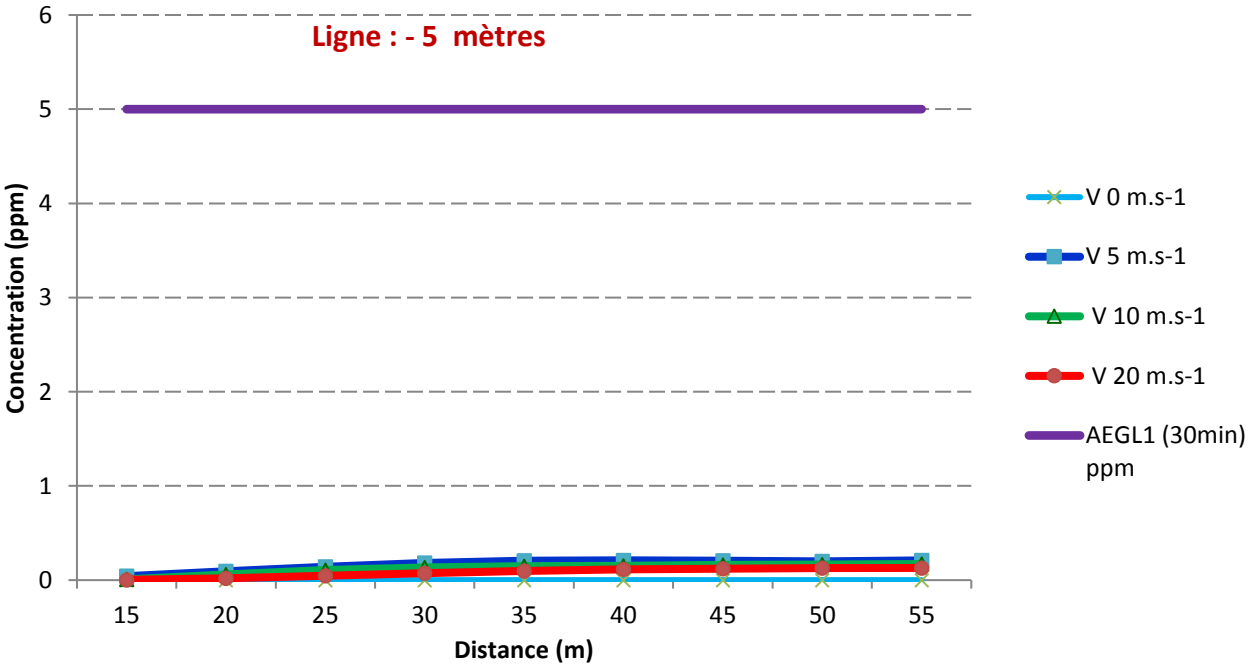


Simulateur- vue de droite

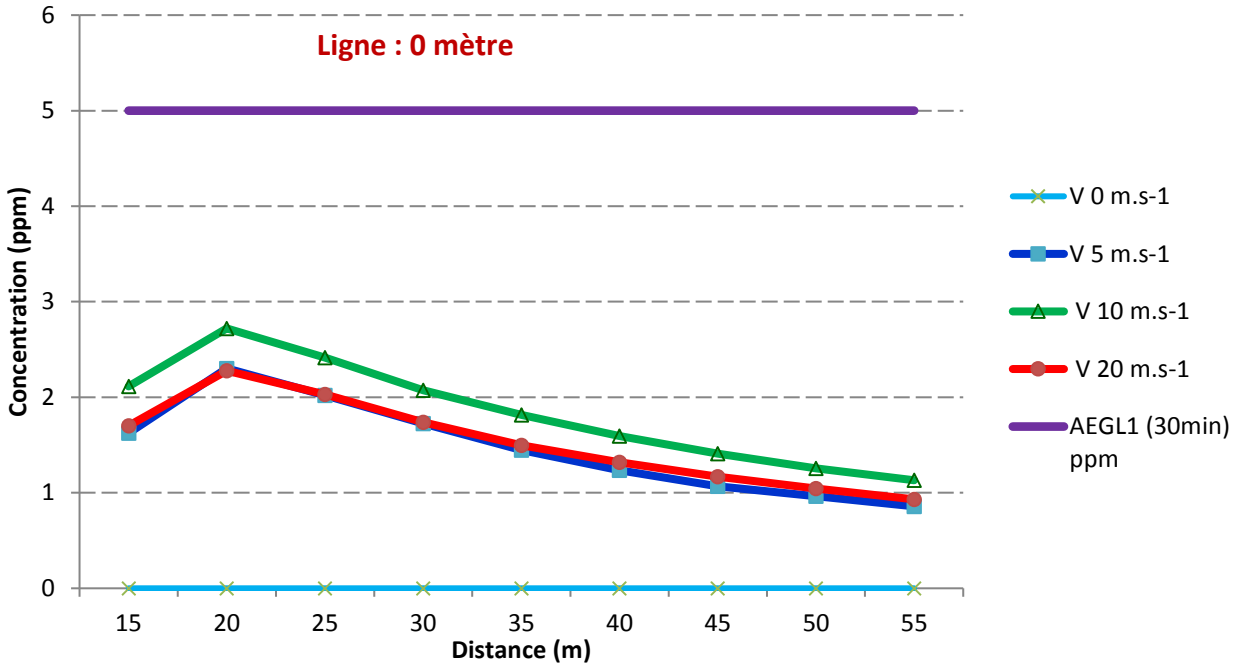


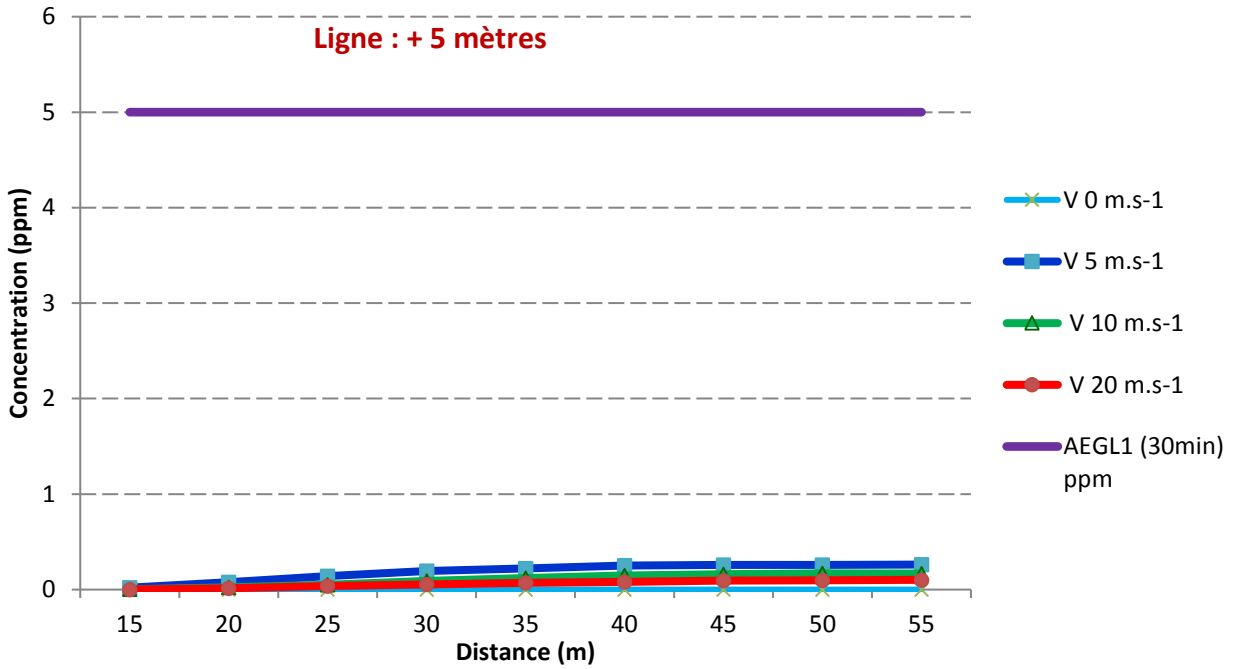
Simulateur - vue de dessus

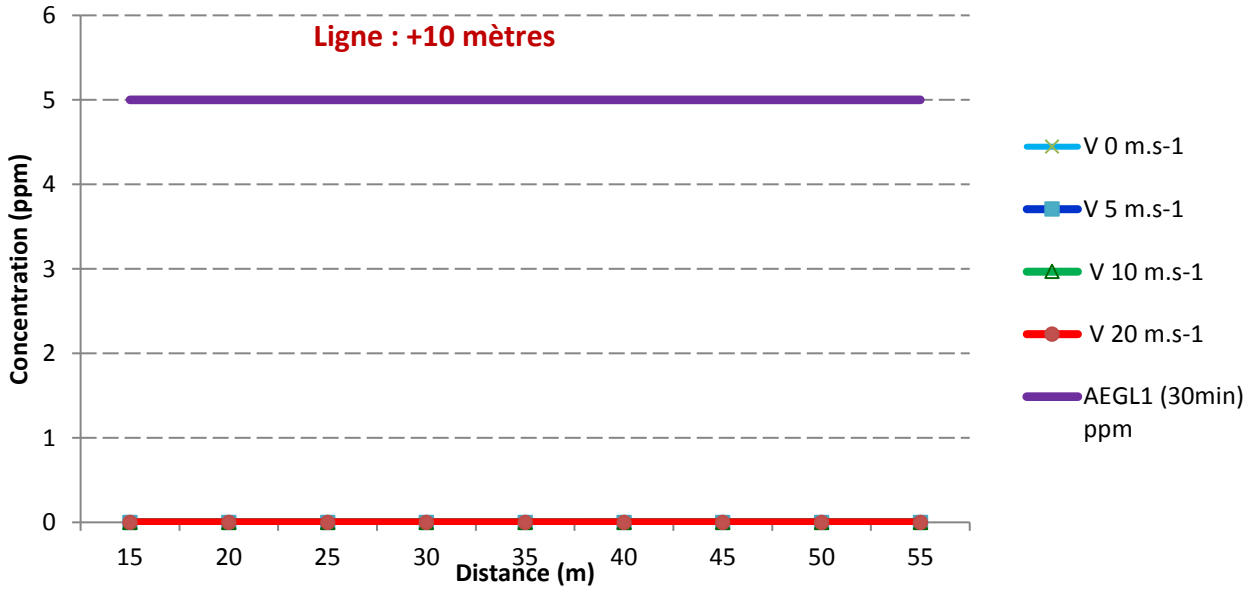




NOx - angle alpha 0°



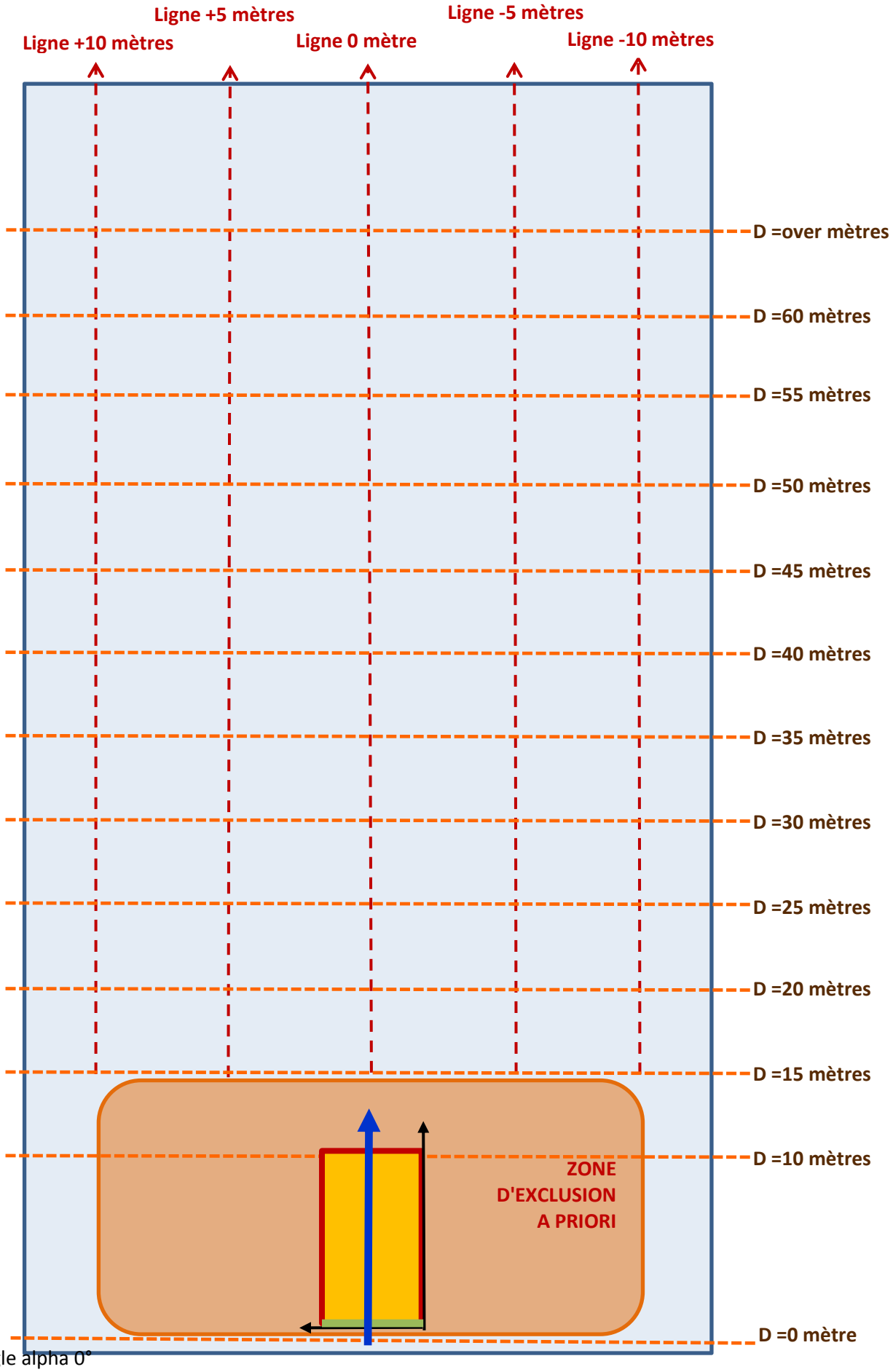




NOx - angle alpha 0°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

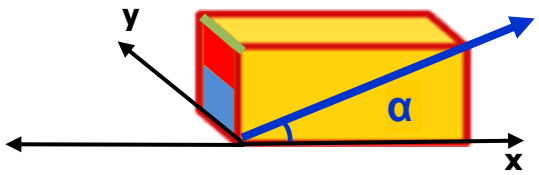
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 0 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



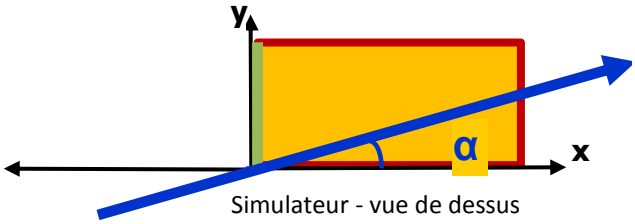
NOx - angle alpha 0°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

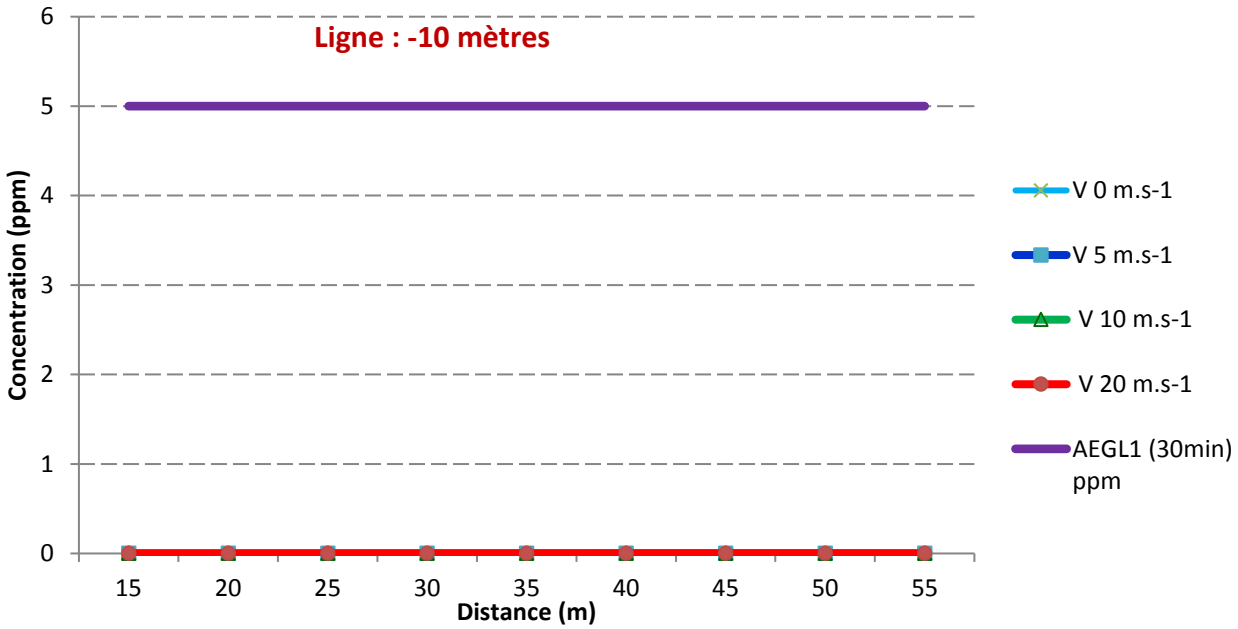
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 30 °

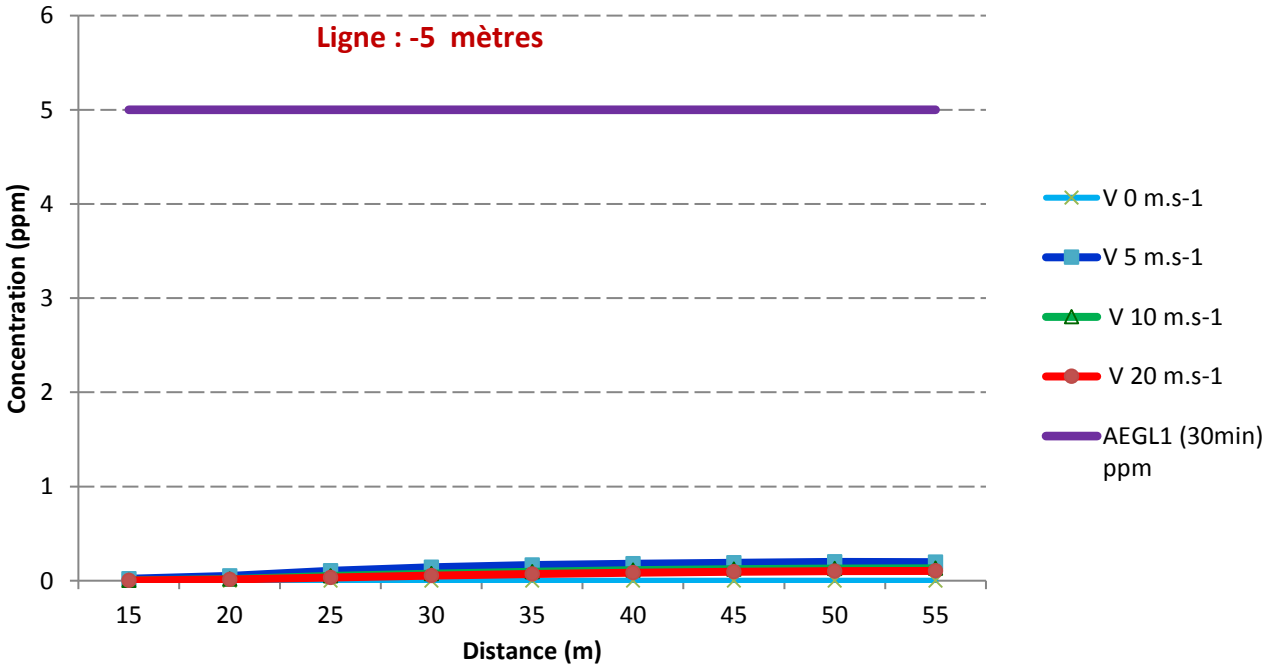


Simulateur- vue de droite

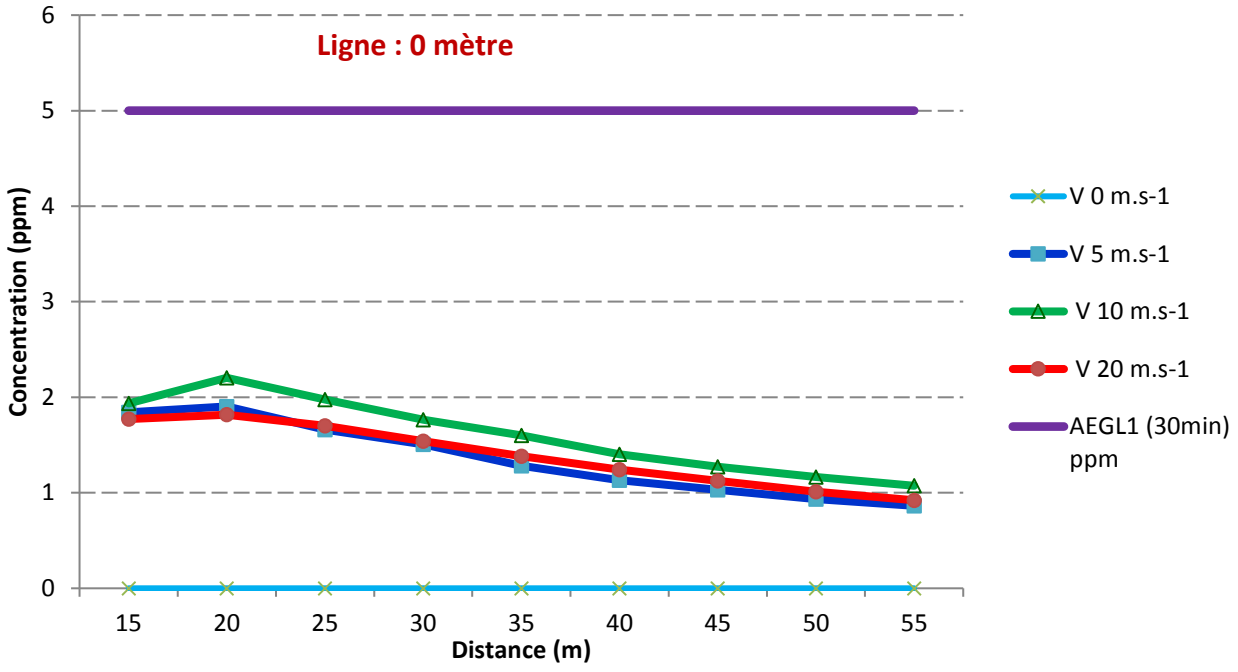


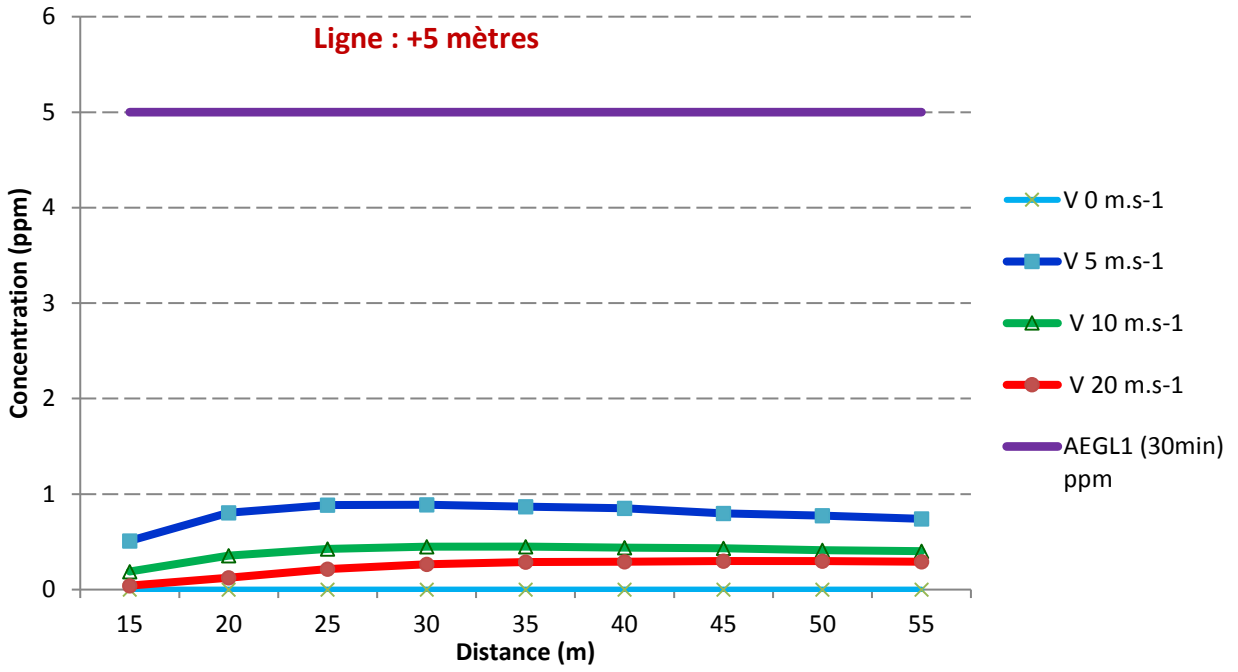
Simulateur - vue de dessus

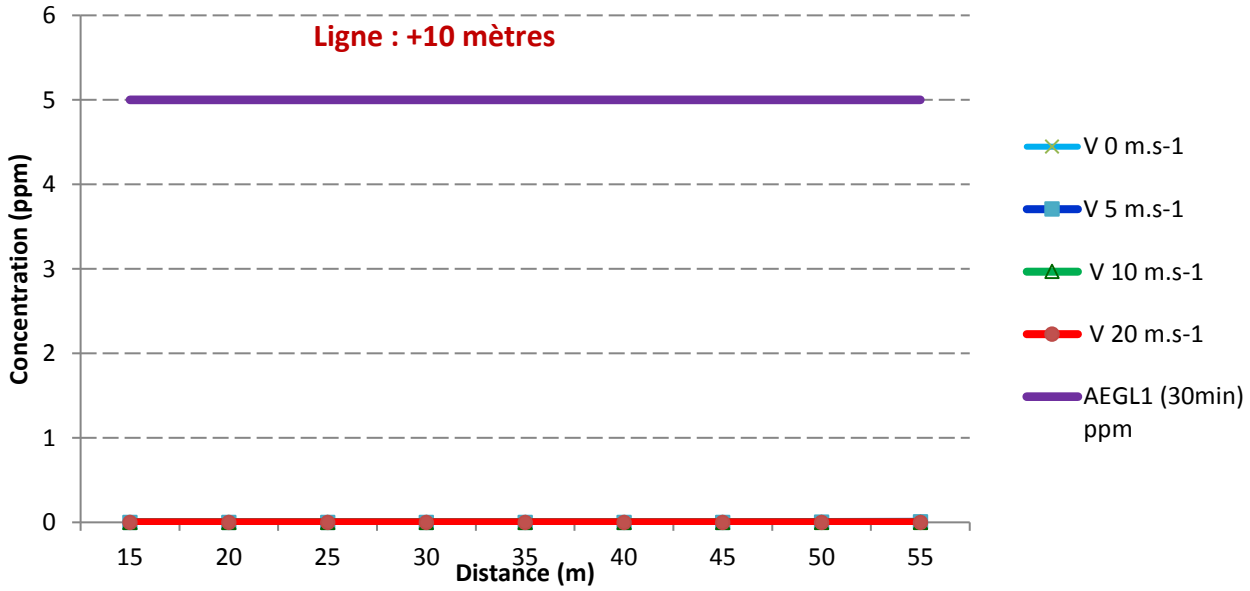




NOx - angle alpha 30°



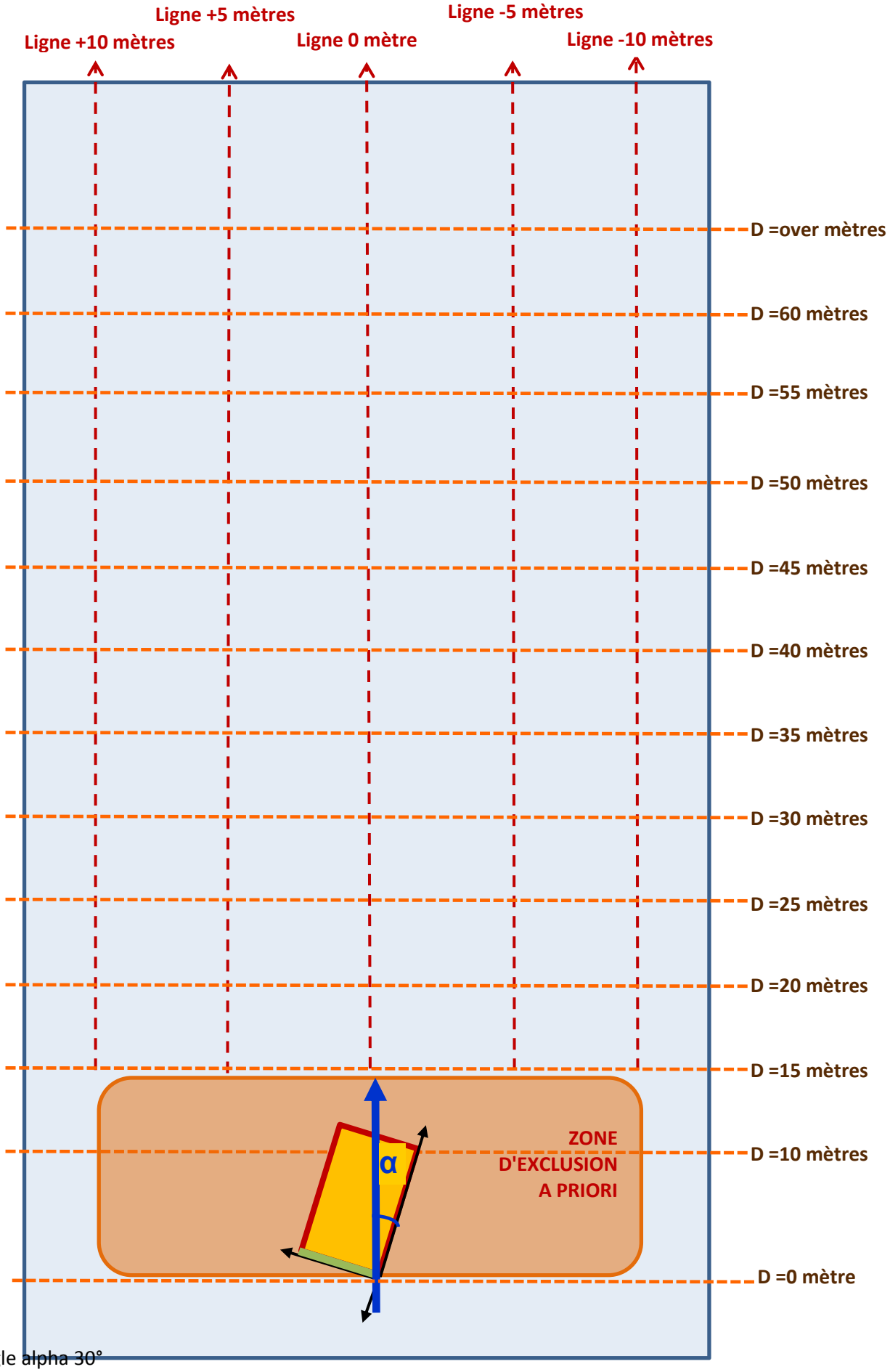




NOx - angle alpha 30°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

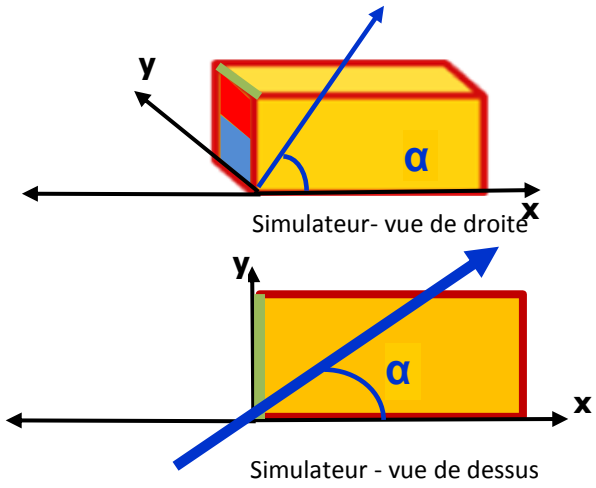
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 30 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

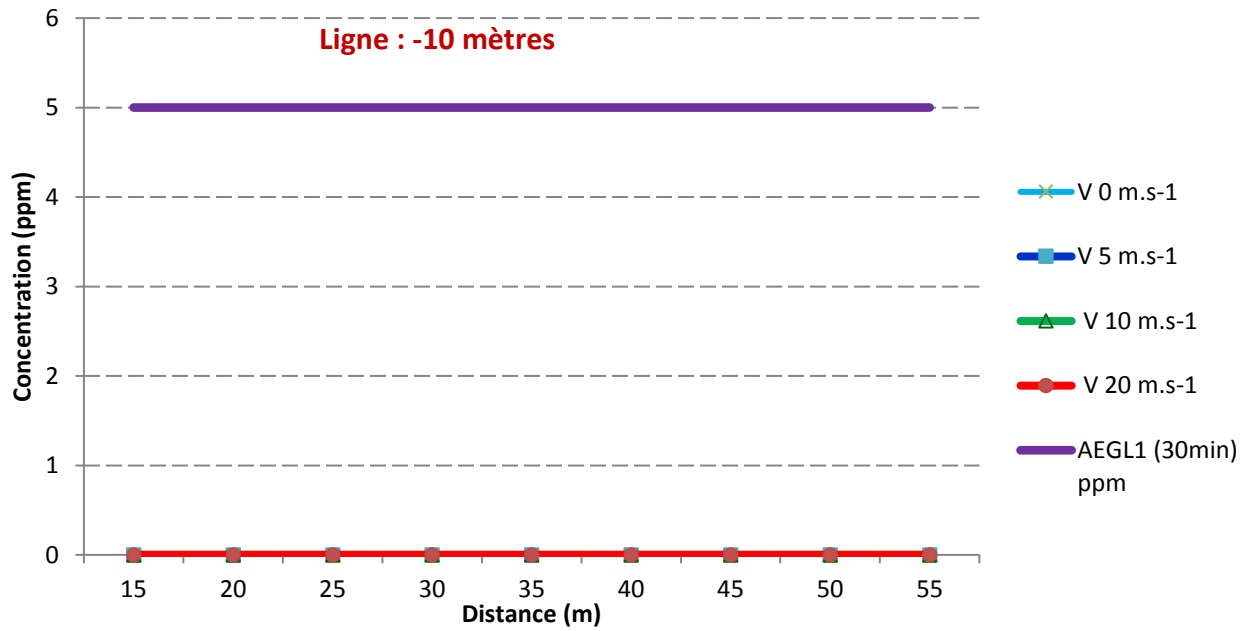


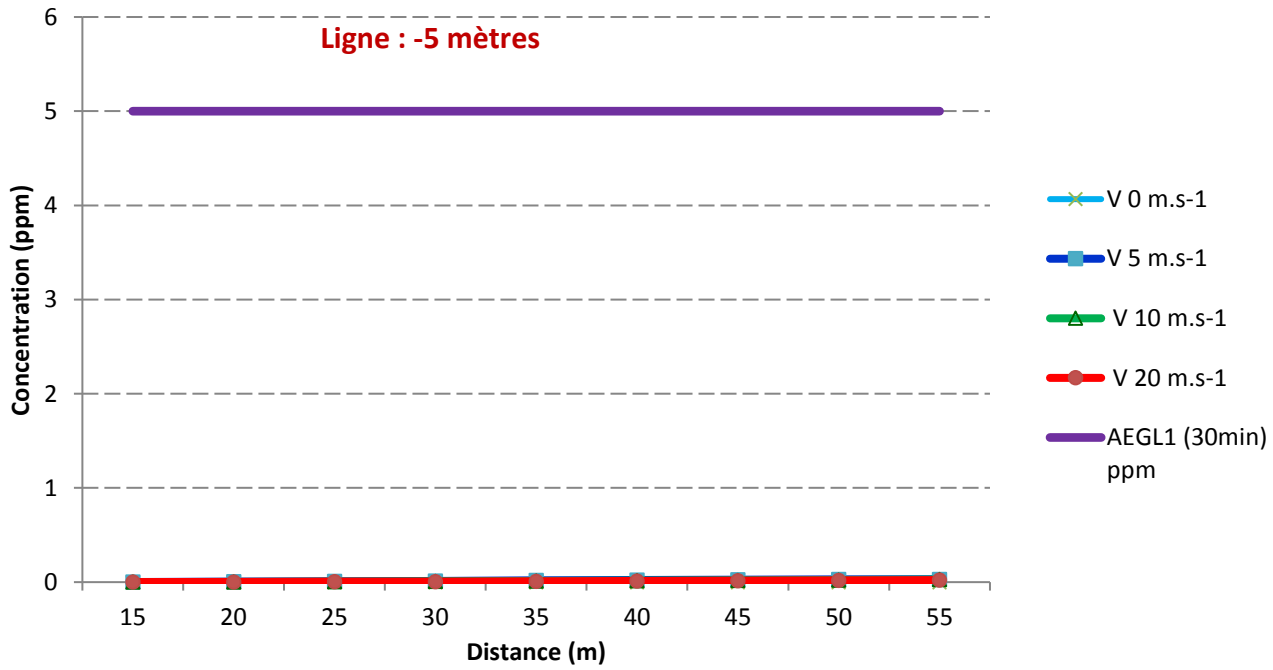
NOx - angle alpha 30°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

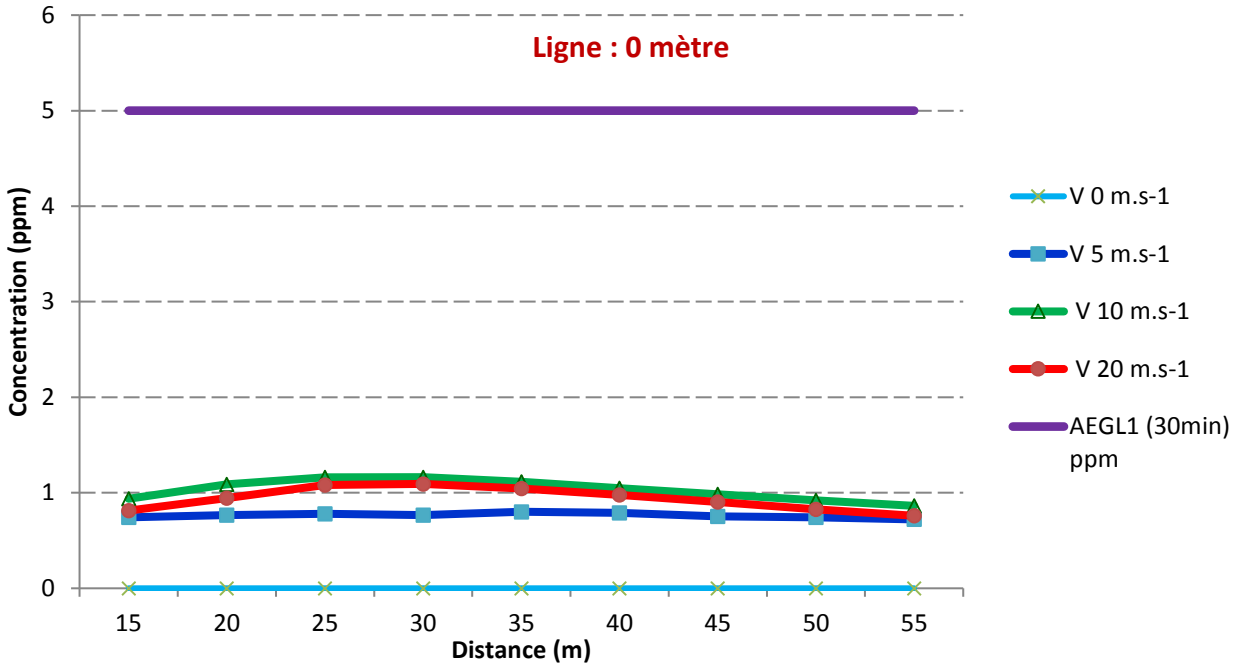
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 60 °

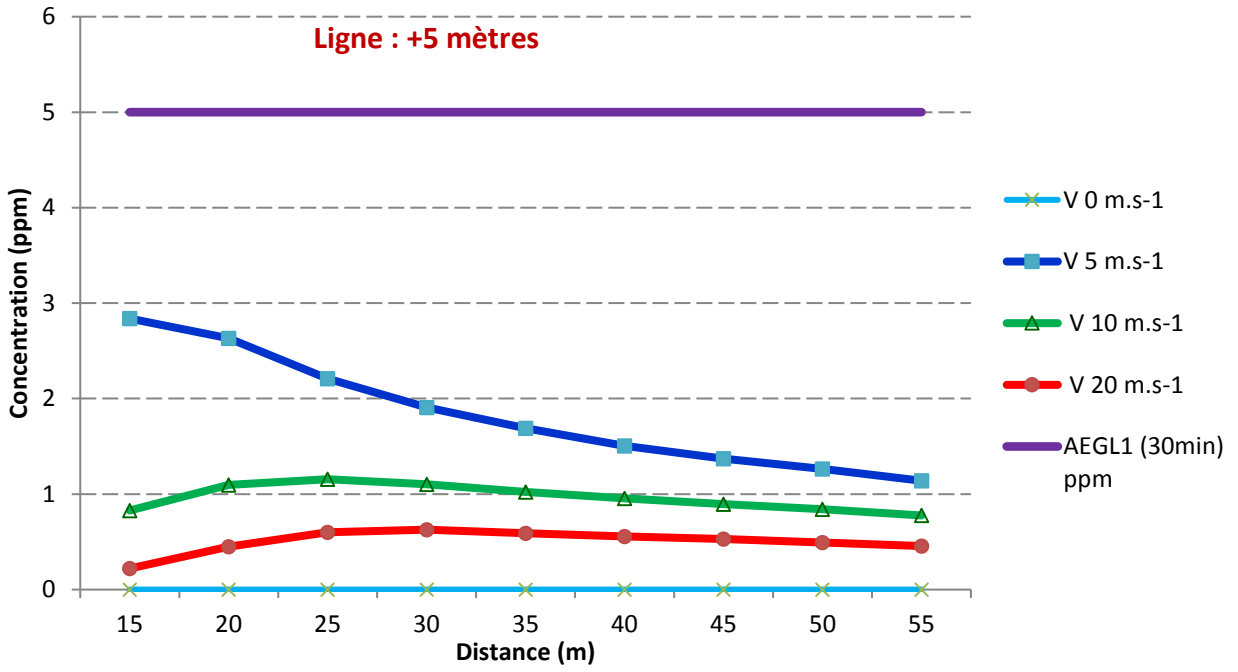


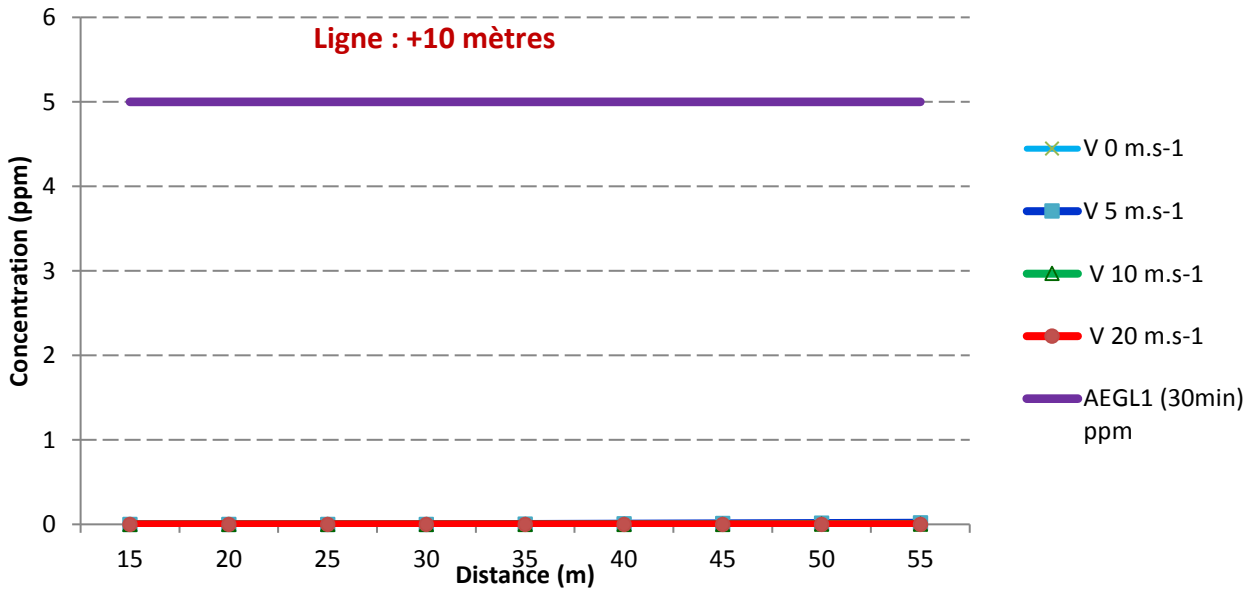




NOx - angle alpha 60°



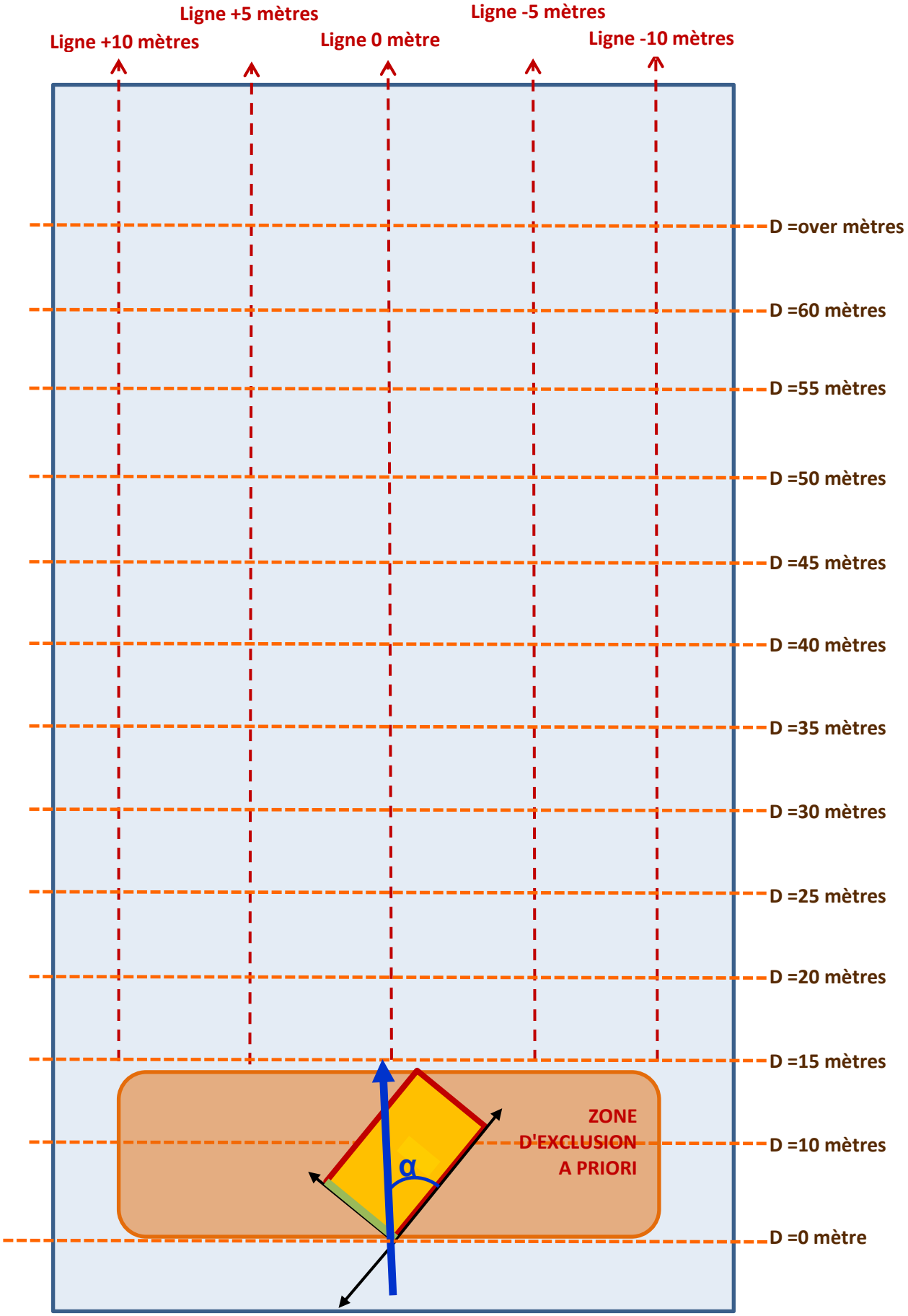




NOx - angle alpha 60°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

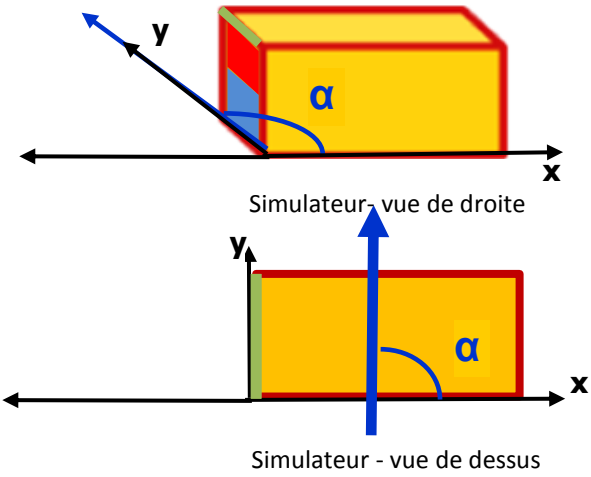
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 60 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

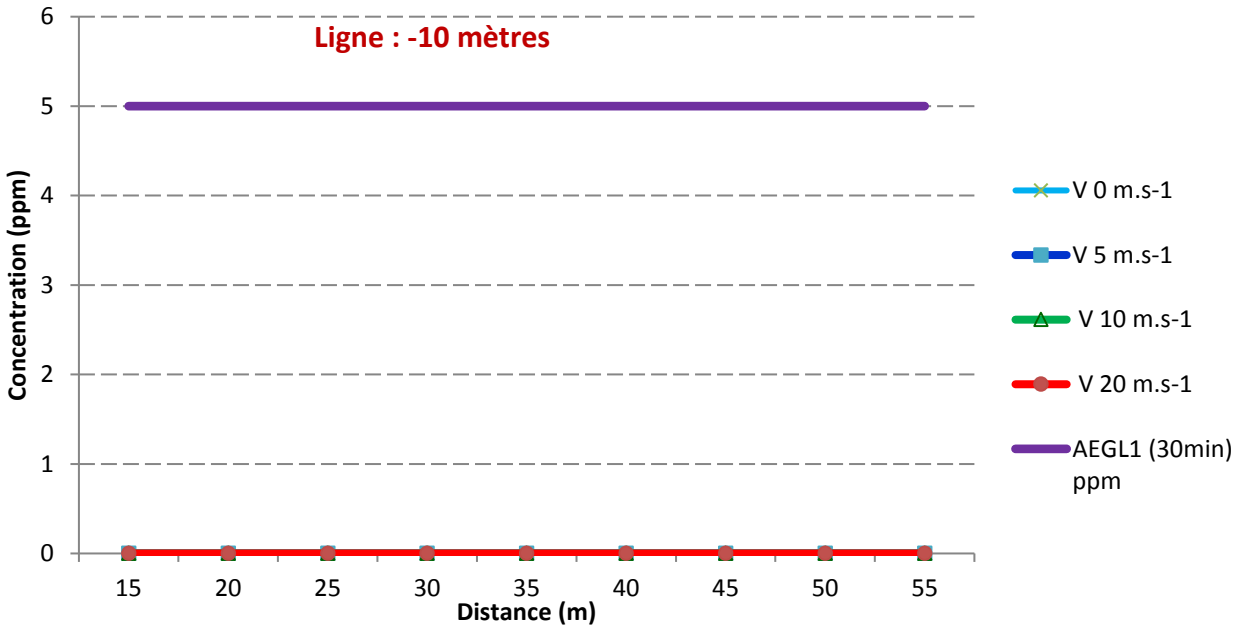


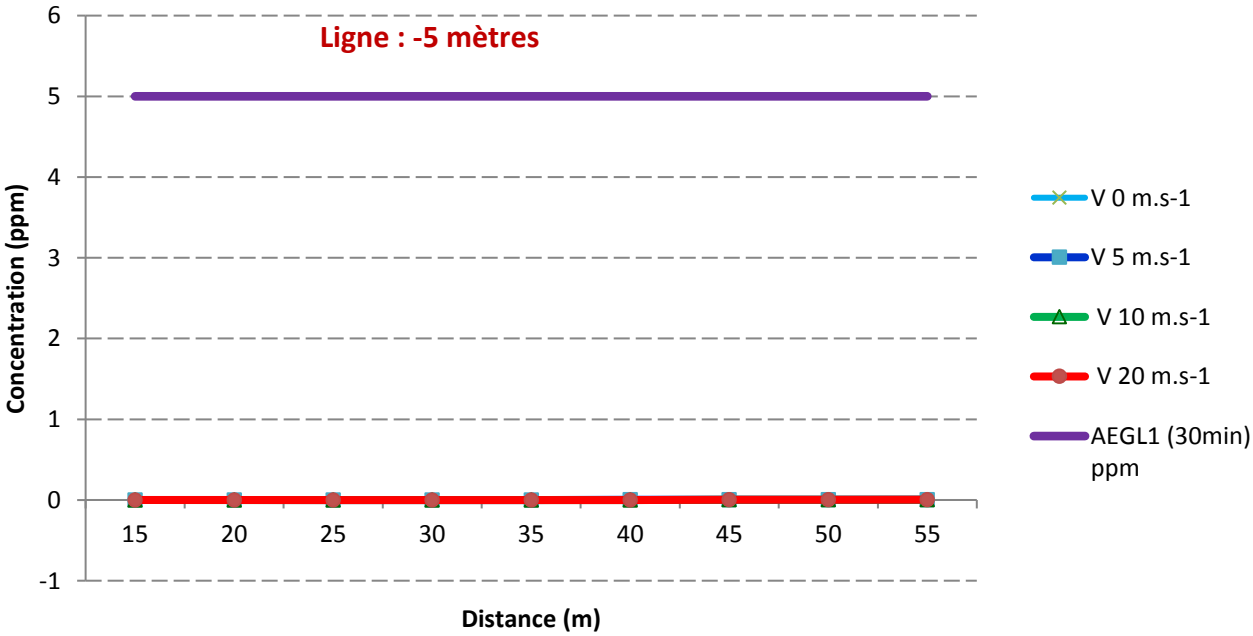
NOx - angle alpha 60°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

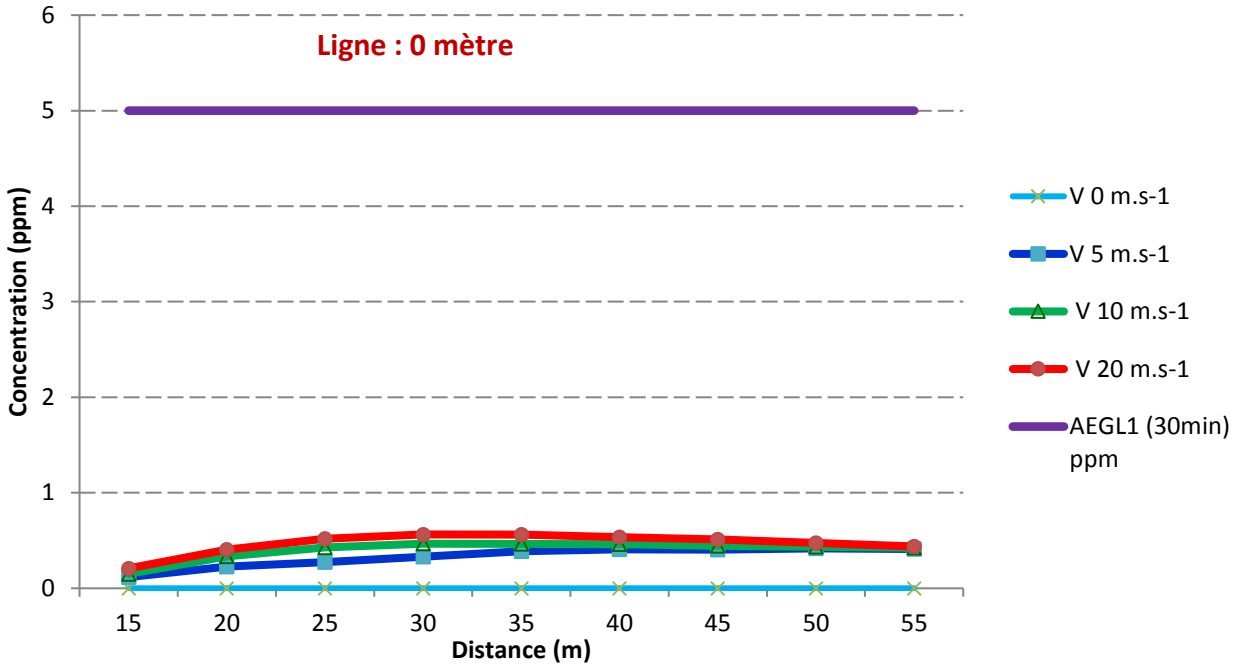
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α =90 °

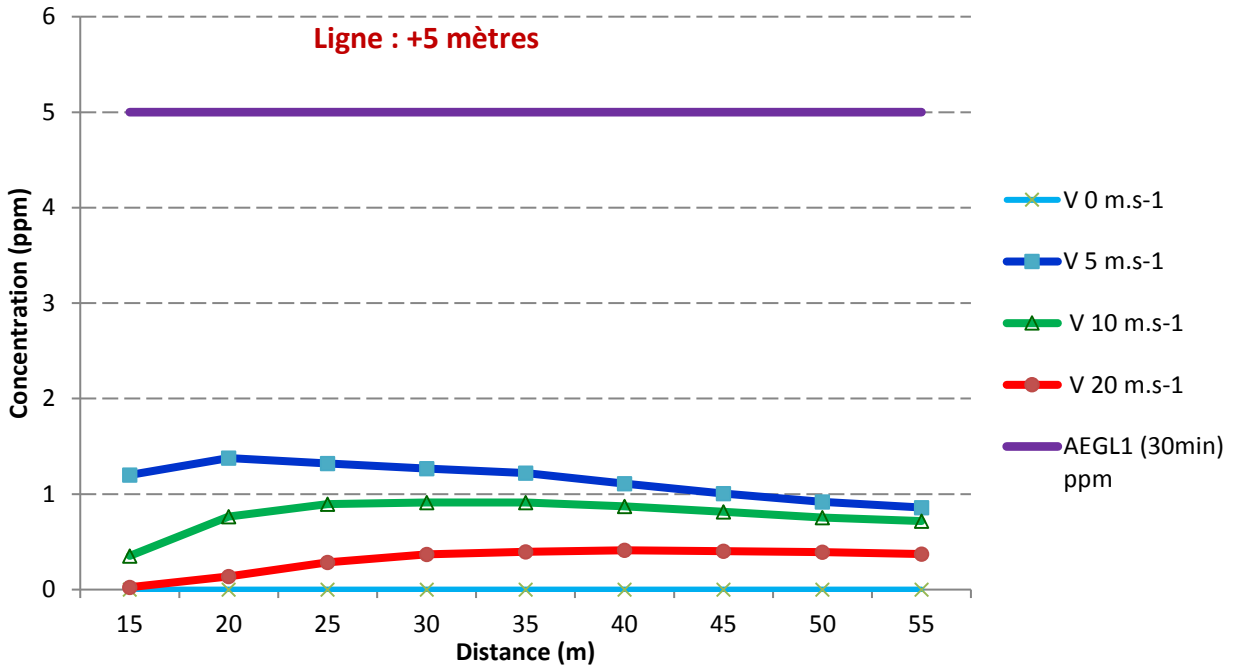


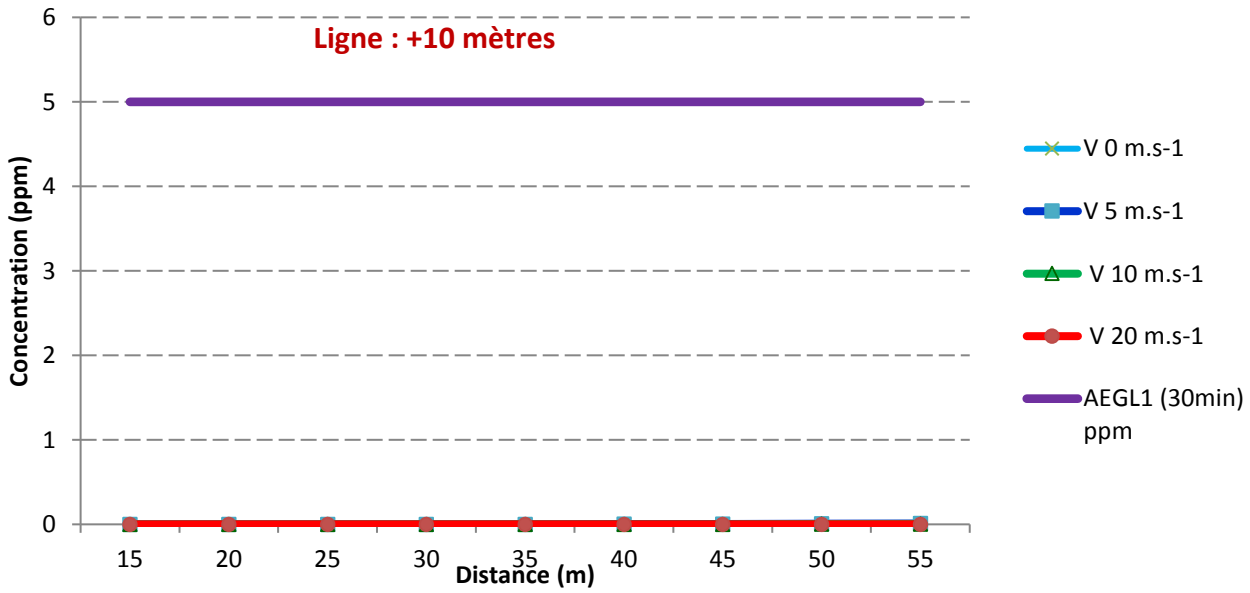




NOx - angle alpha 90°



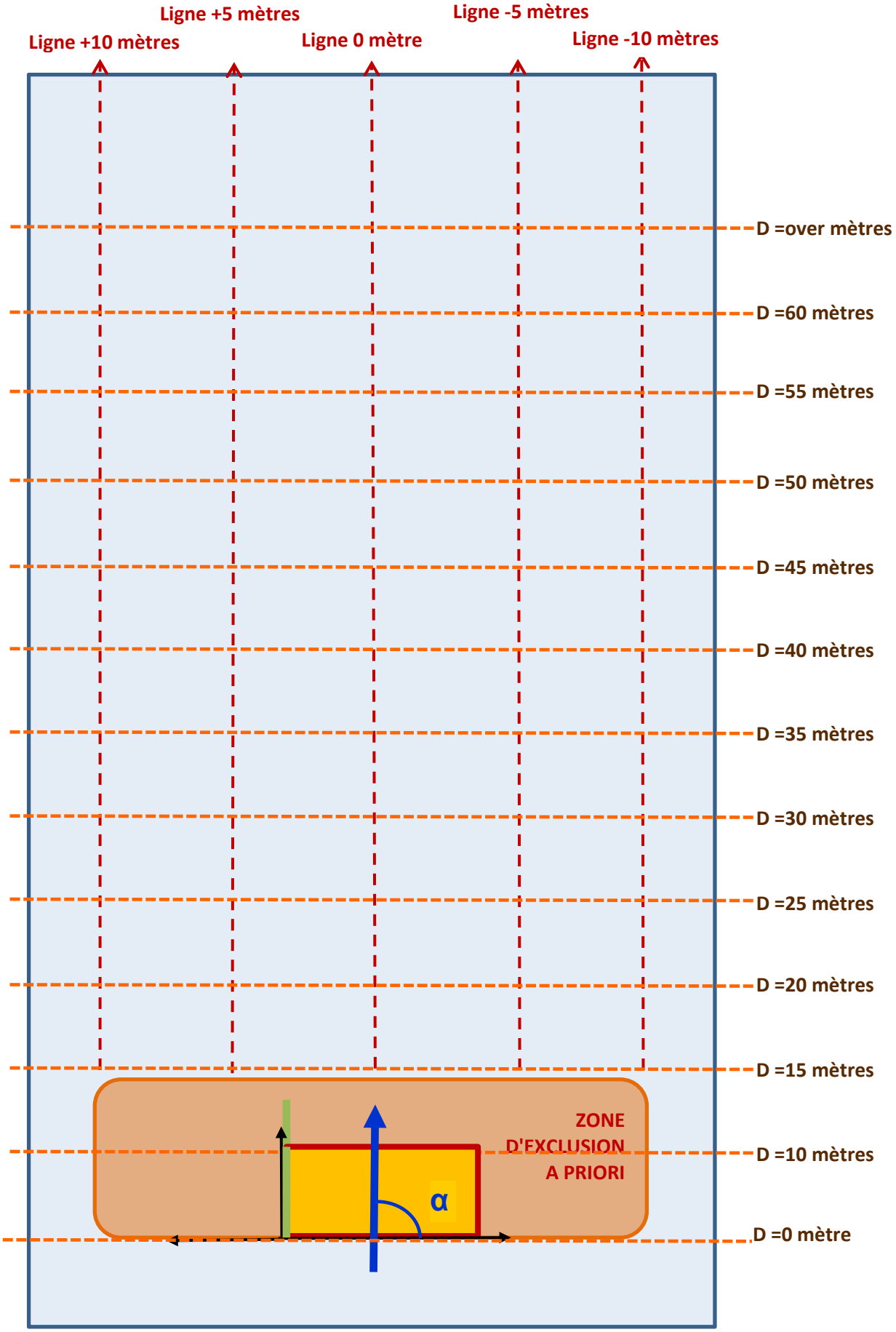




NOx - angle alpha 90°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

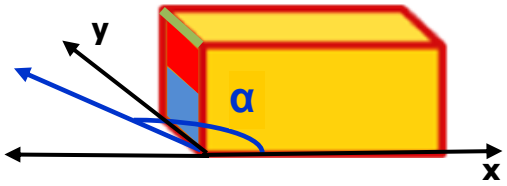
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 90 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



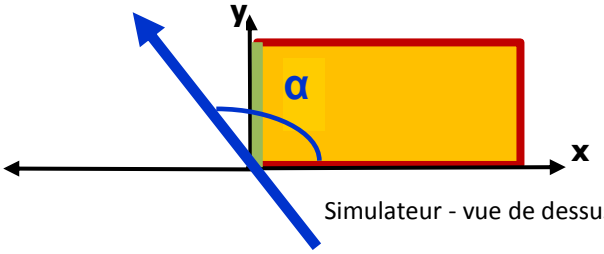
NOx - angle alpha 90°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

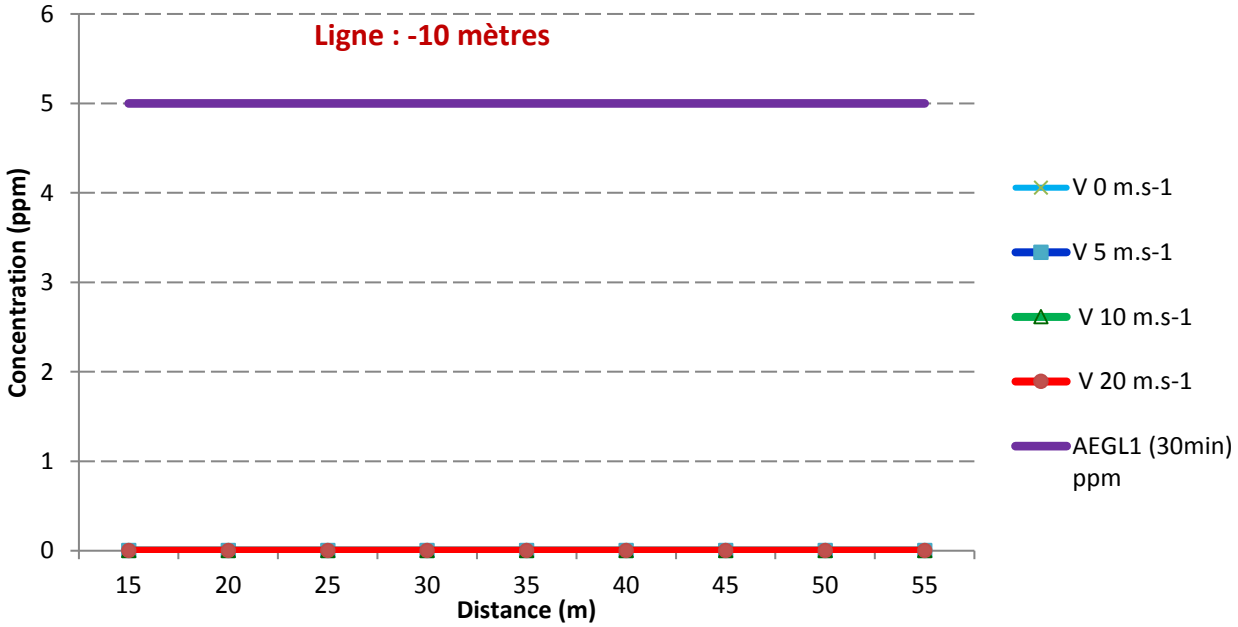
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 120 °

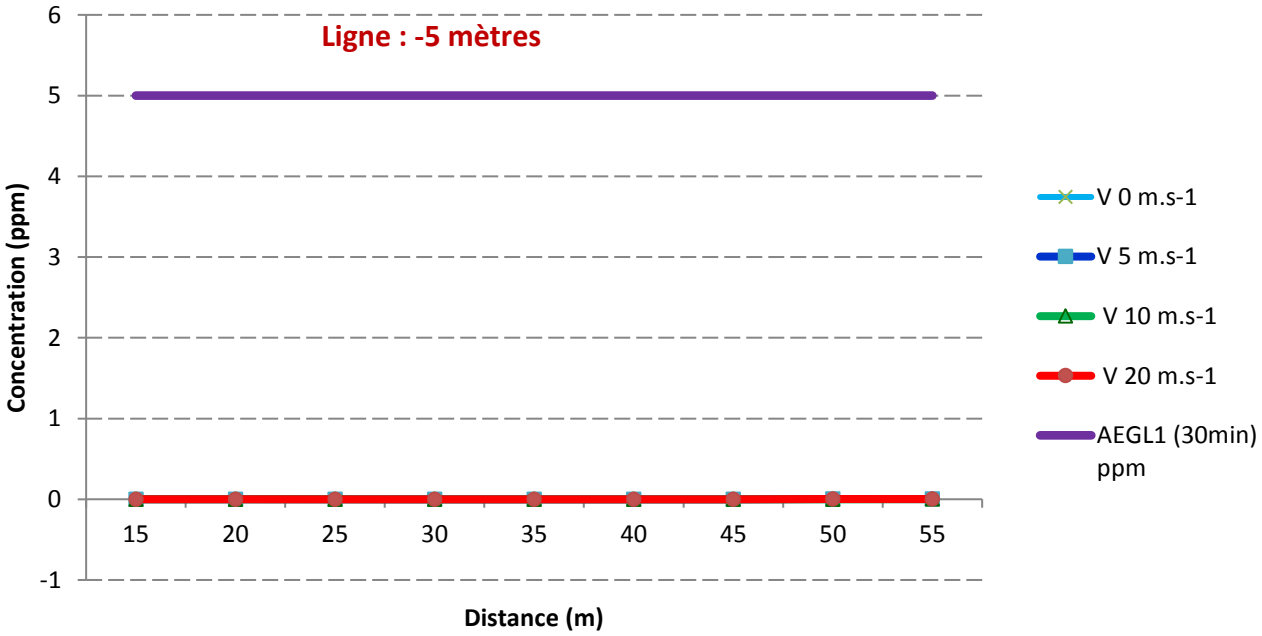


Simulateur- vue de droite

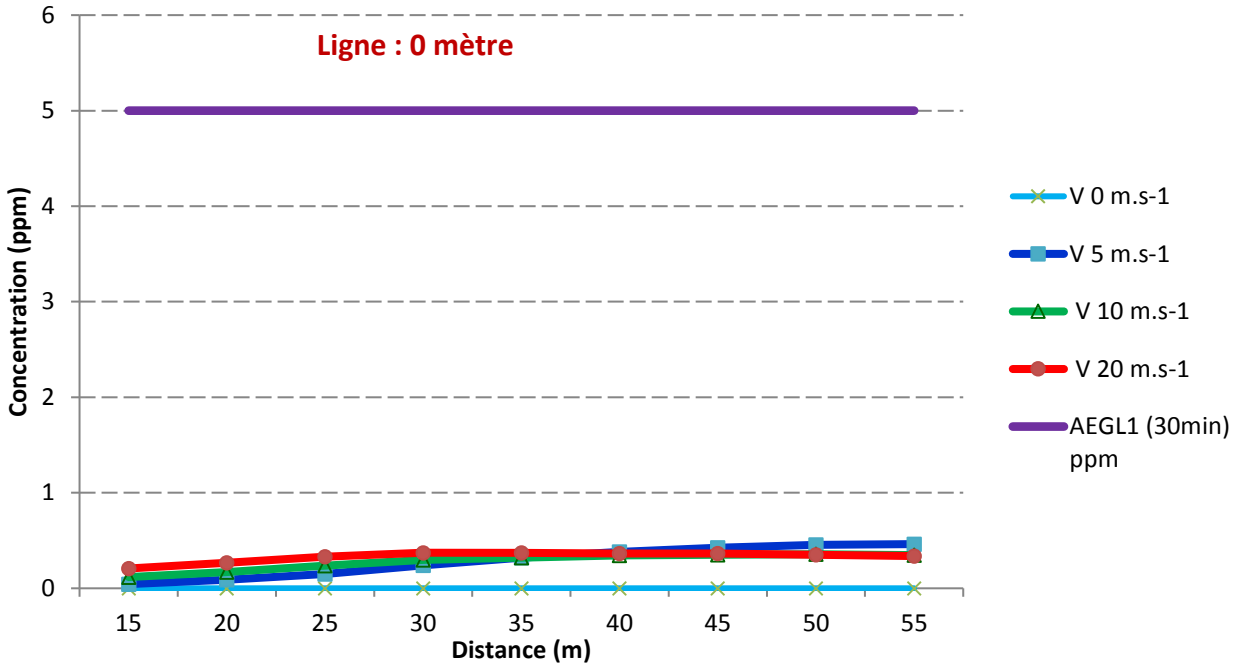


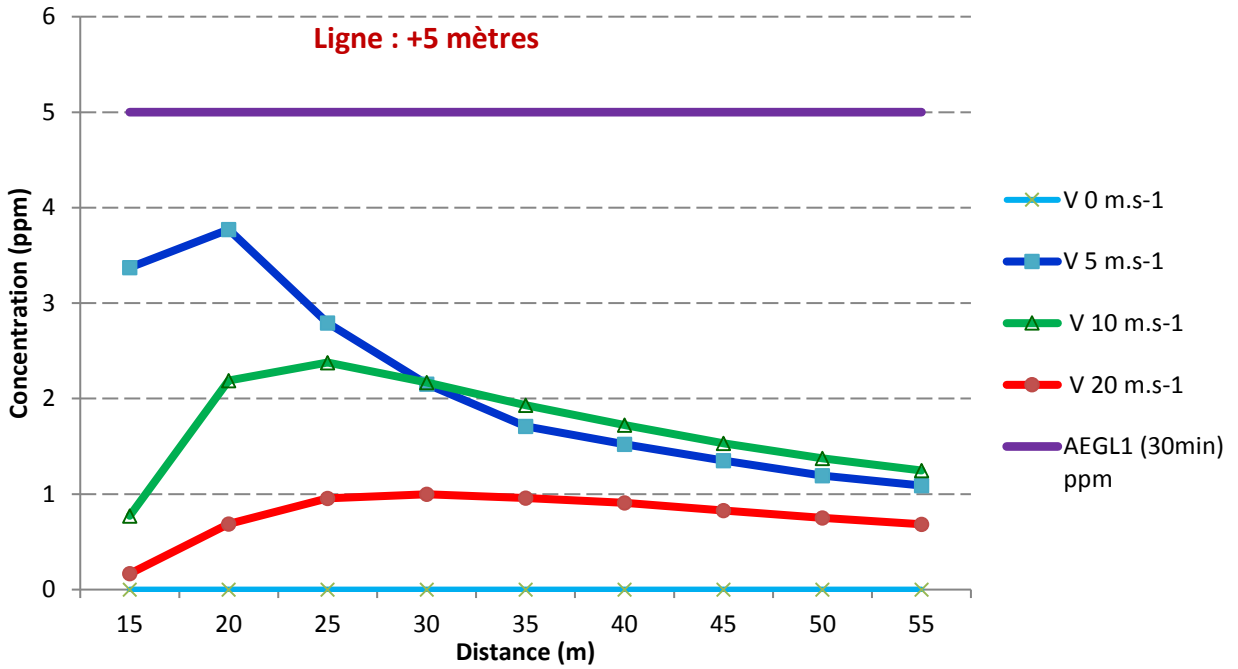
Simulateur - vue de dessus

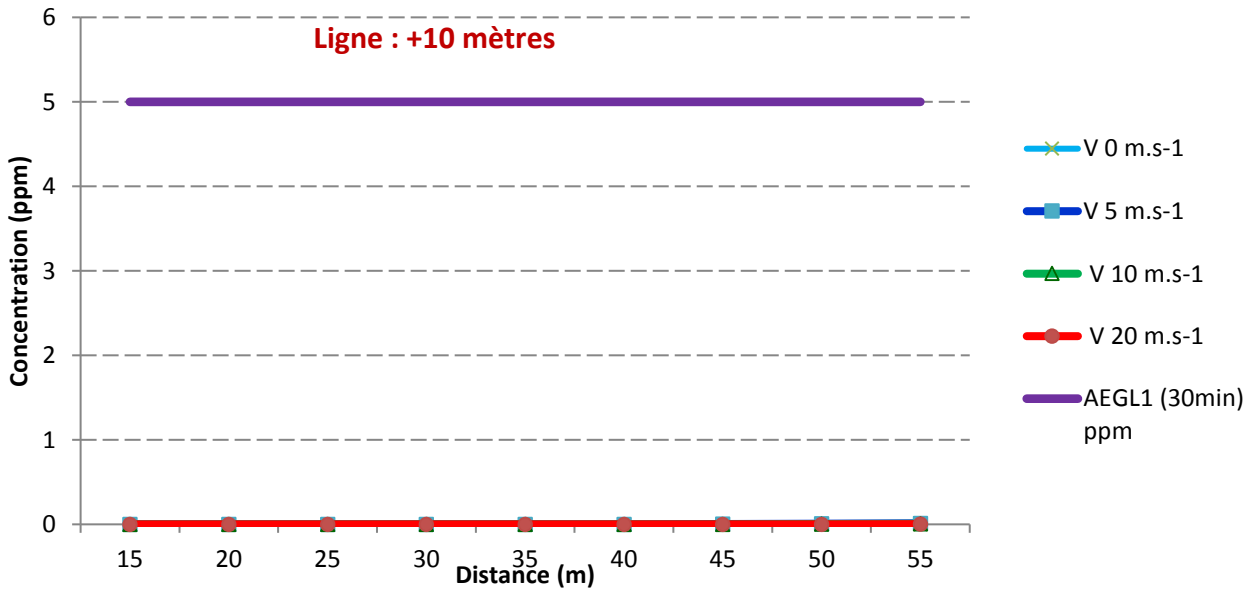




NOx - angle alpha 120°



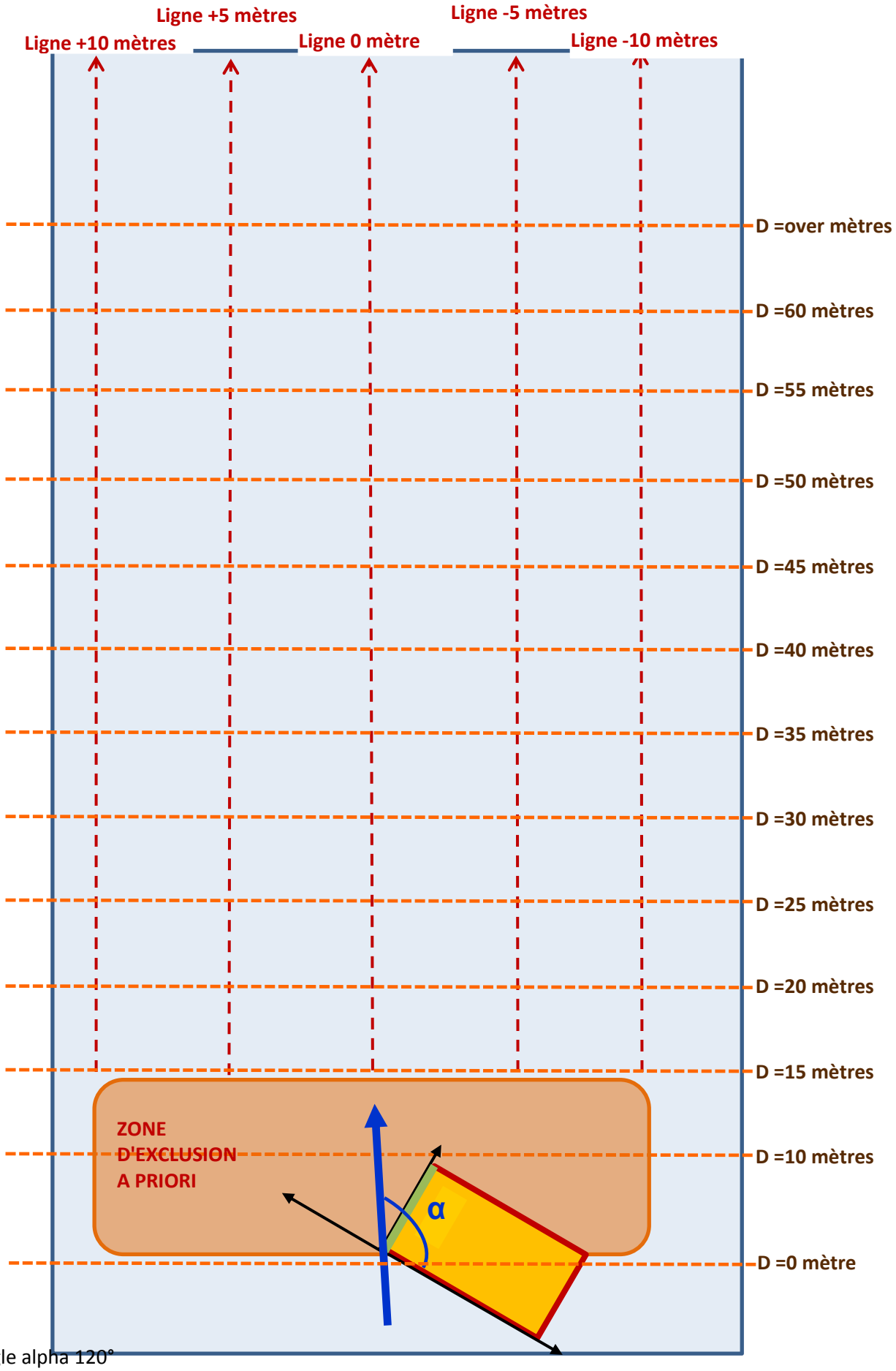




NOx - angle alpha 120°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

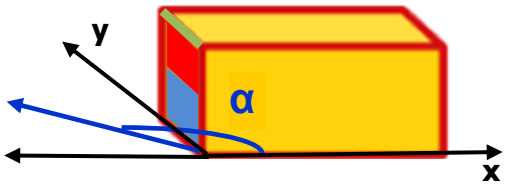
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 120 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



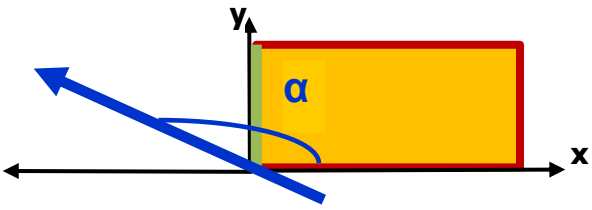
NOx - angle alpha 120°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

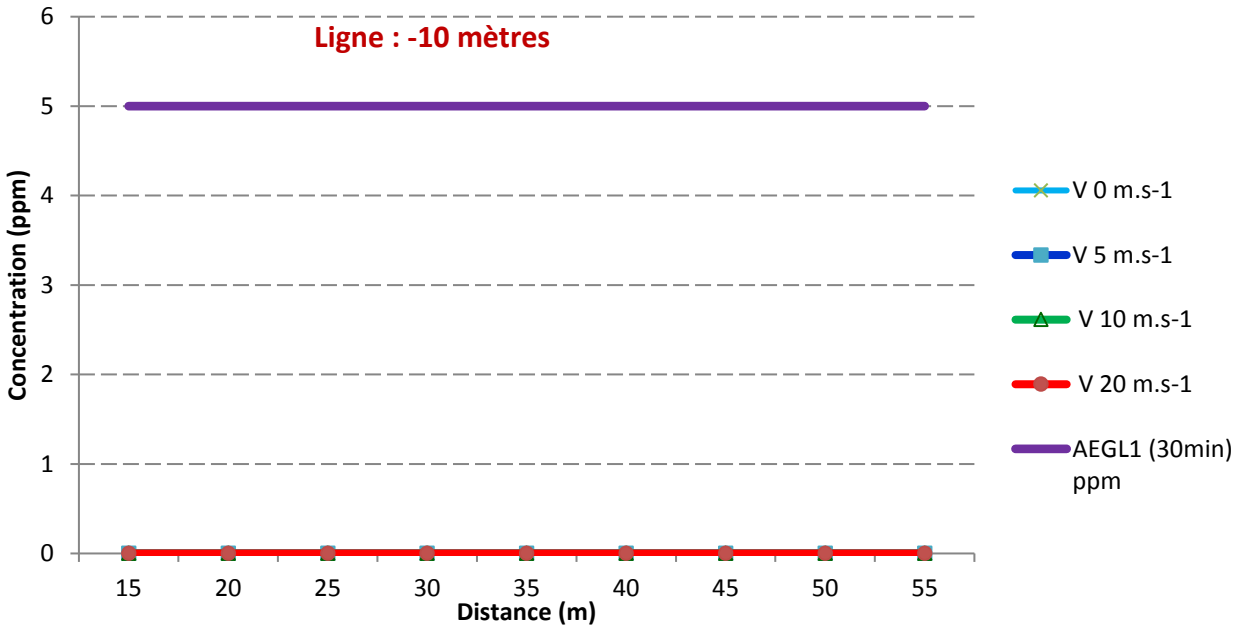
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 150 °

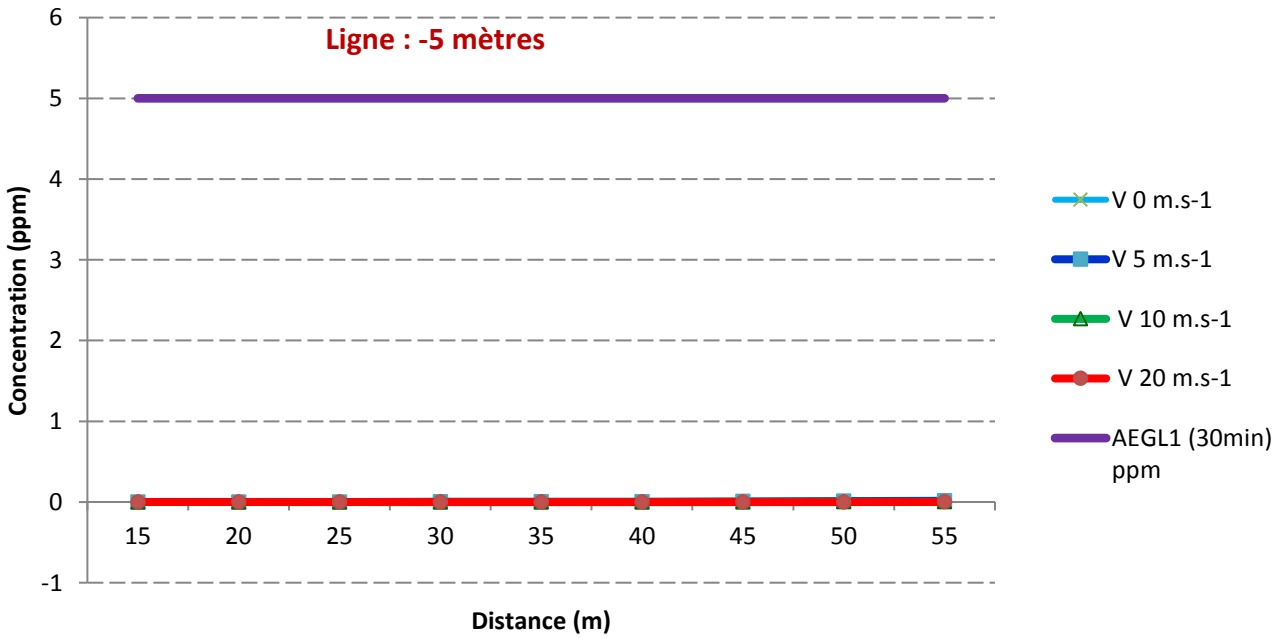


Simulateur- vue de droite

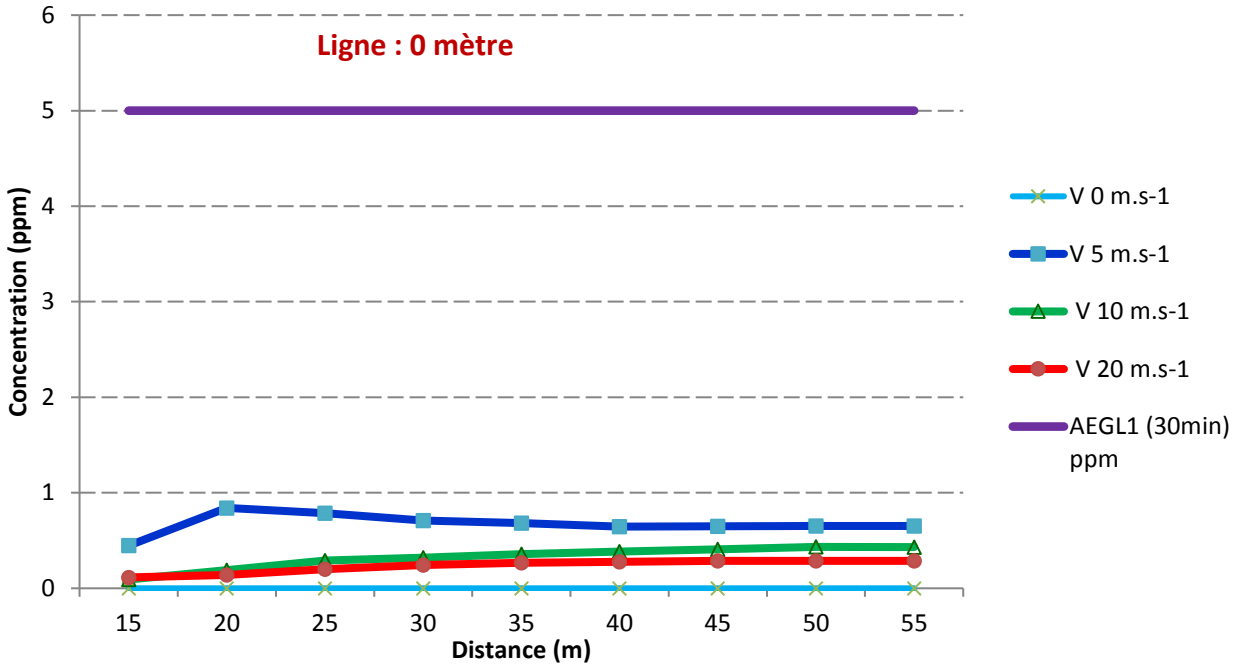


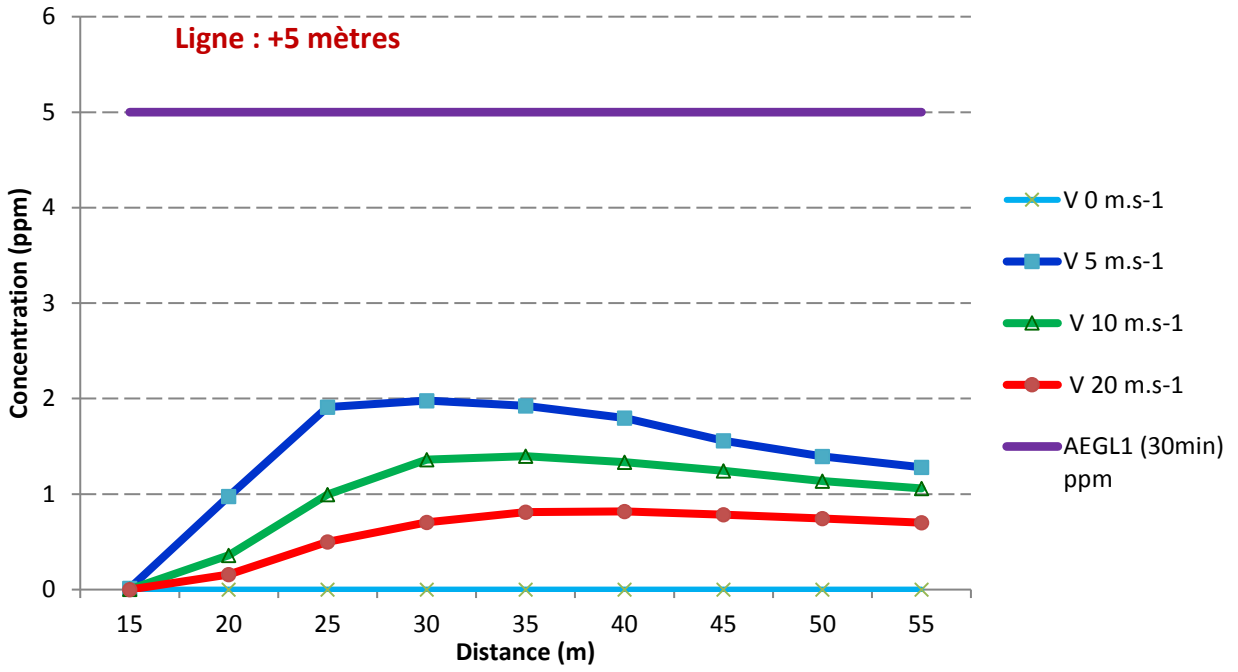
Simulateur - vue de dessus

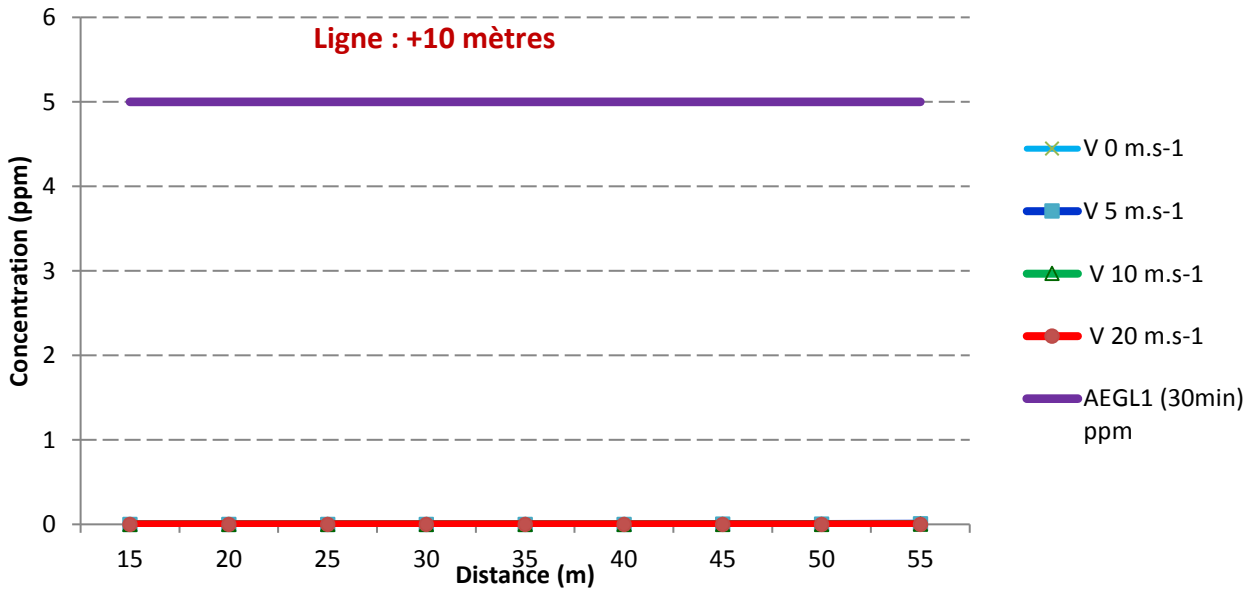




NOx - angle alpha 150°



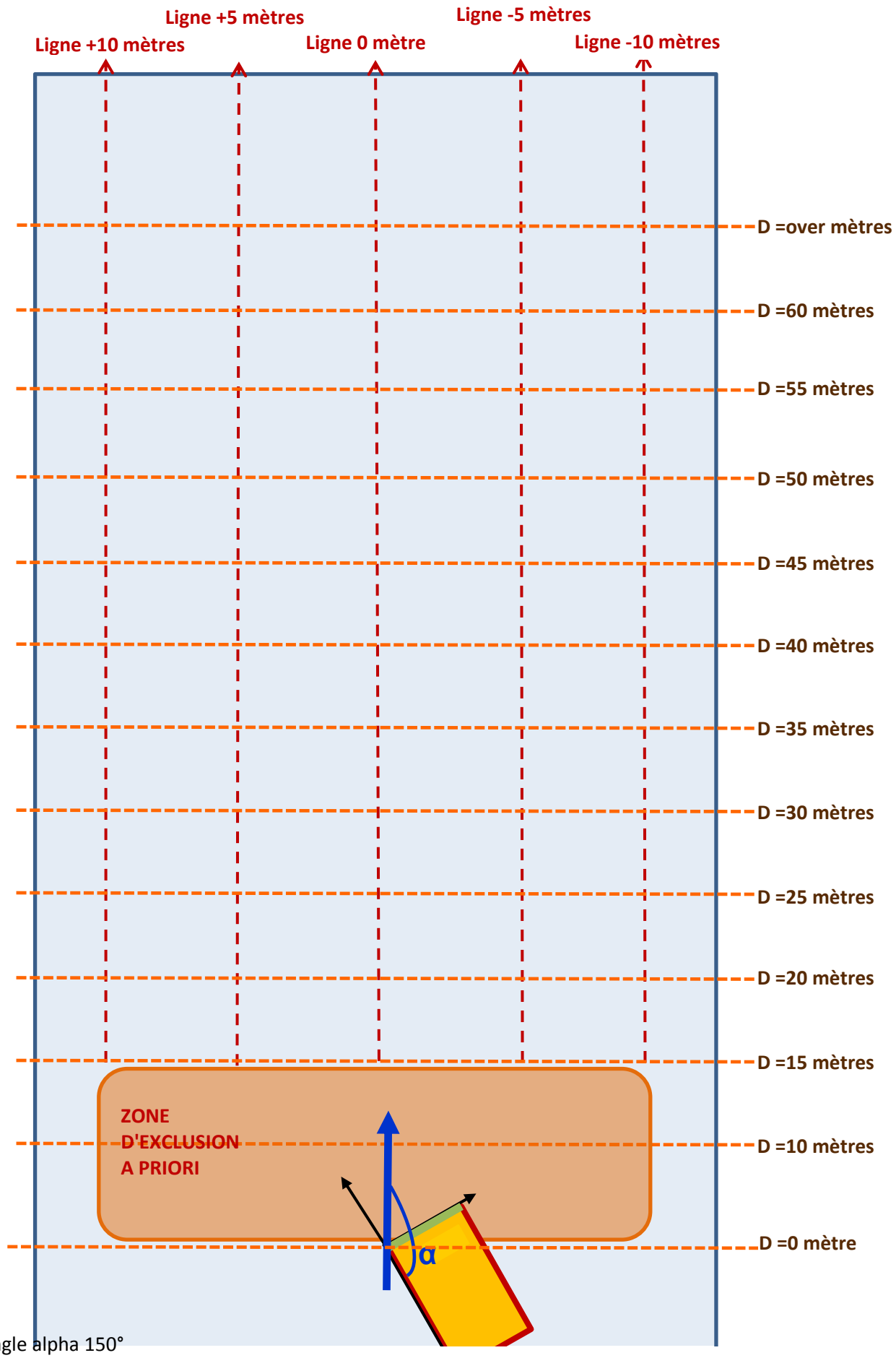




NOx - angle alpha 150°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

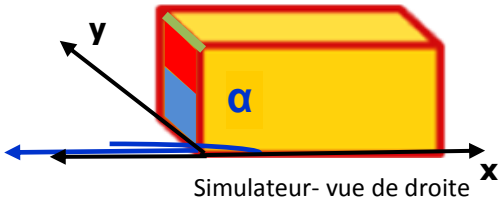
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 150 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



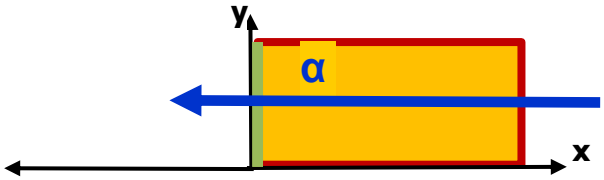
NOx - angle alpha 150°

Concentration de NOx émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

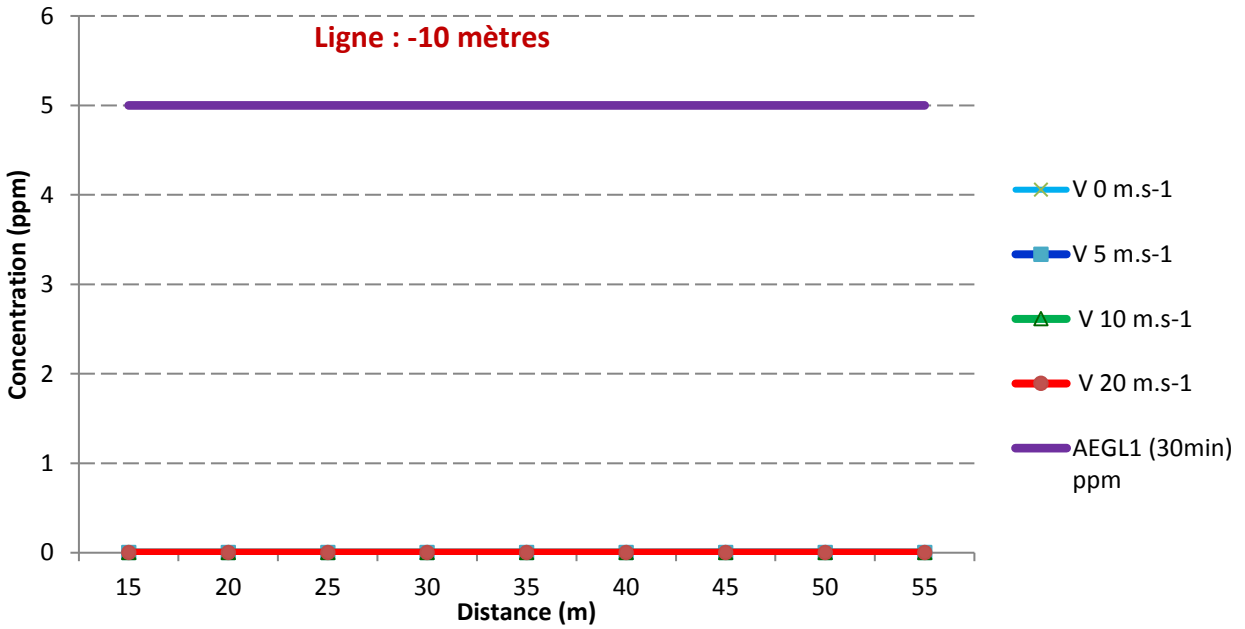
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 180 °

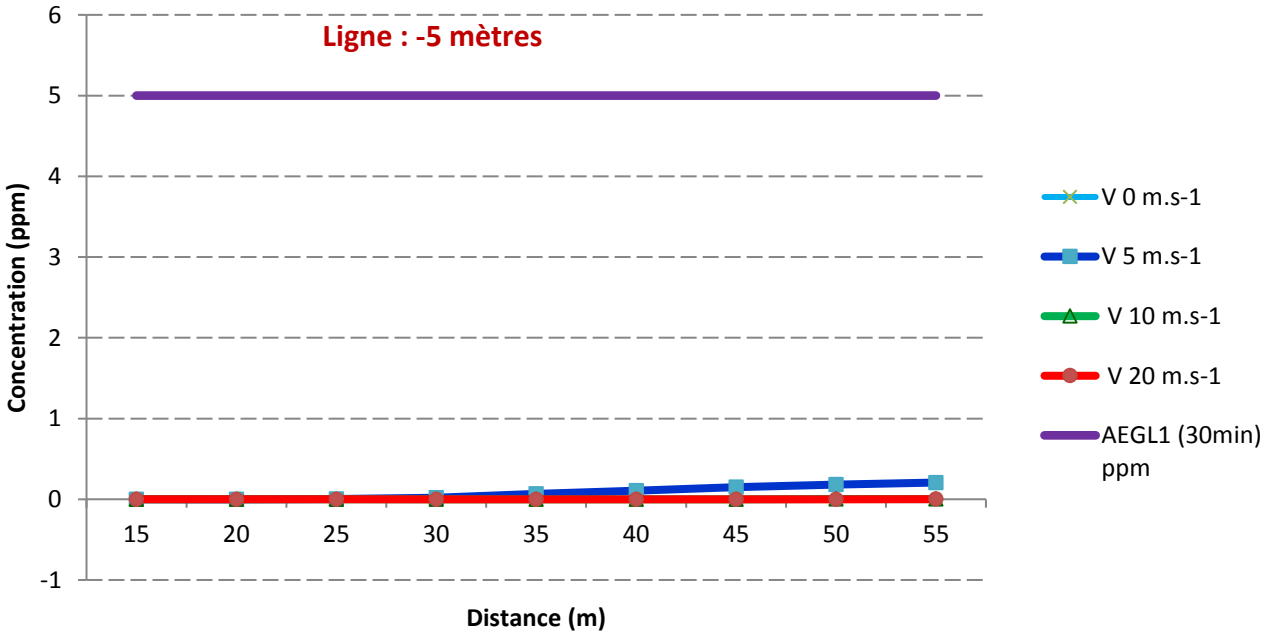


Simulateur- vue de droite

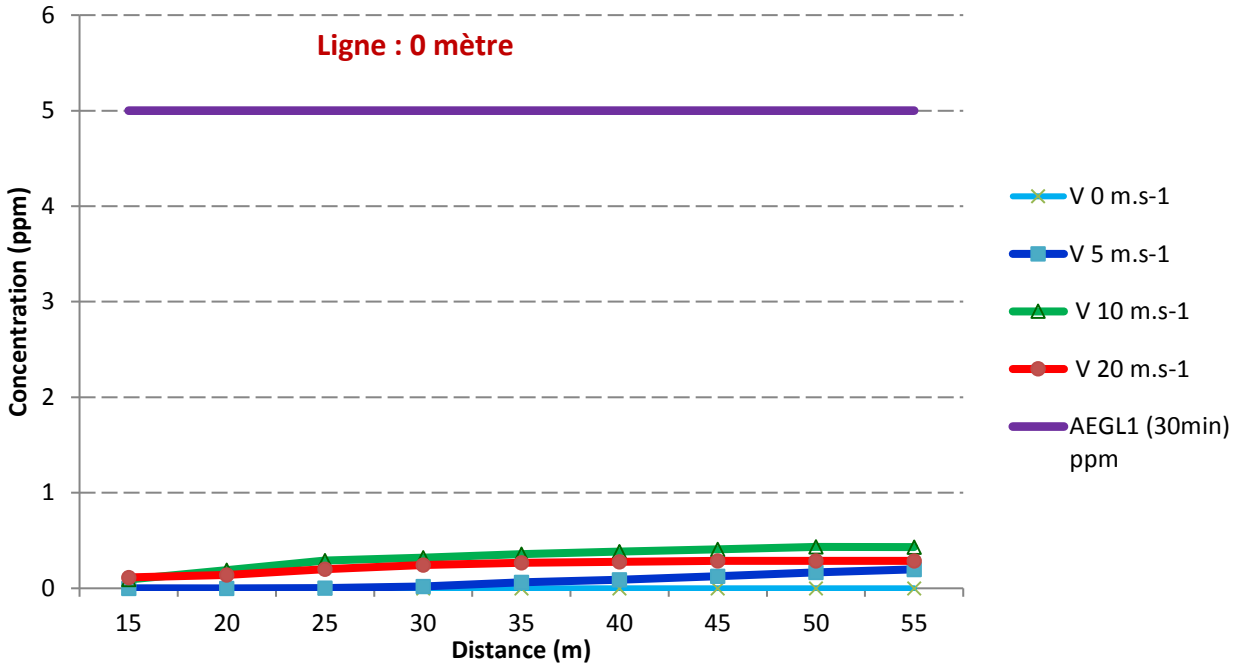


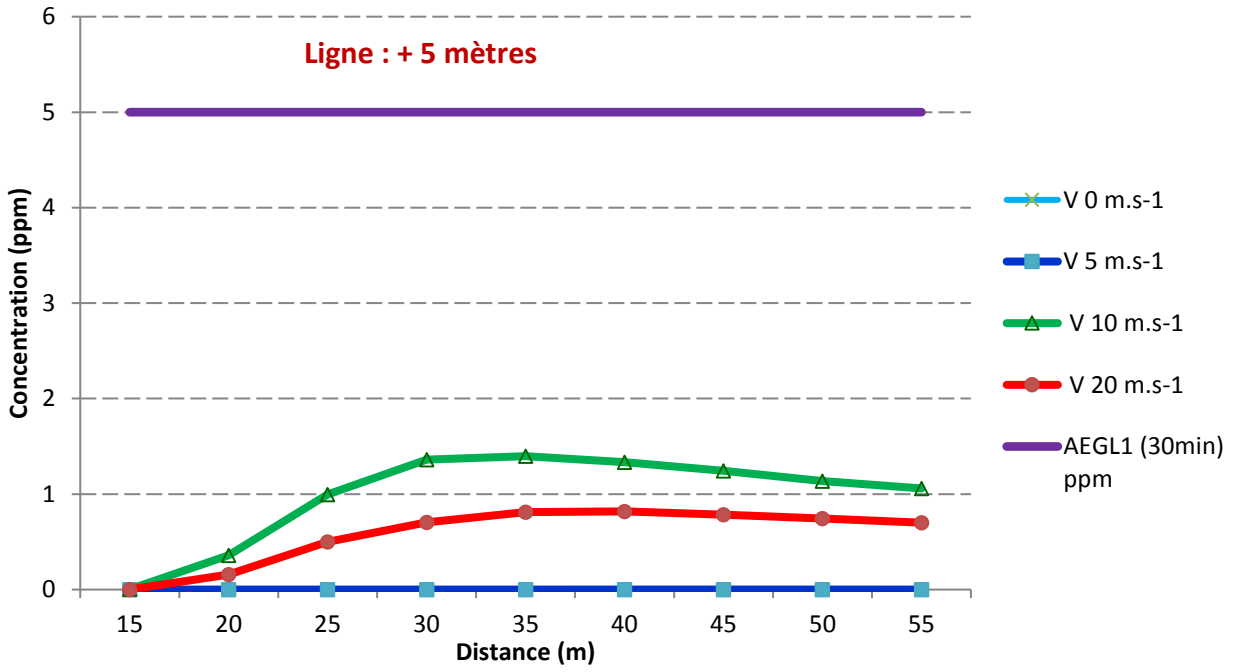
Simulateur - vue de dessus

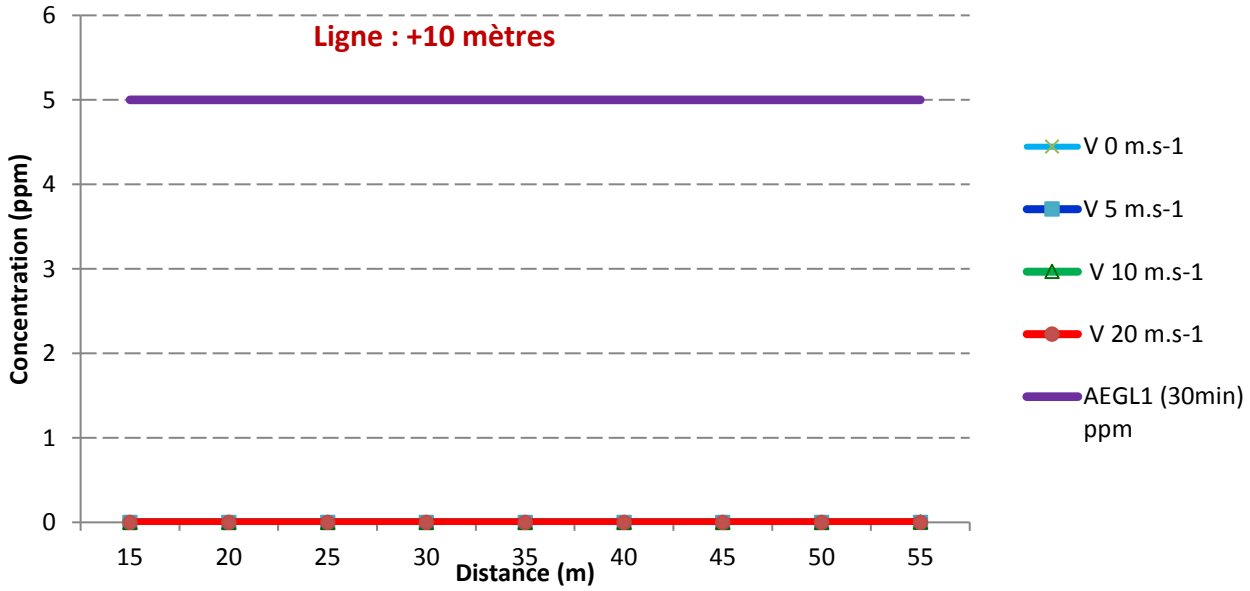




NOx - angle alpha 180°



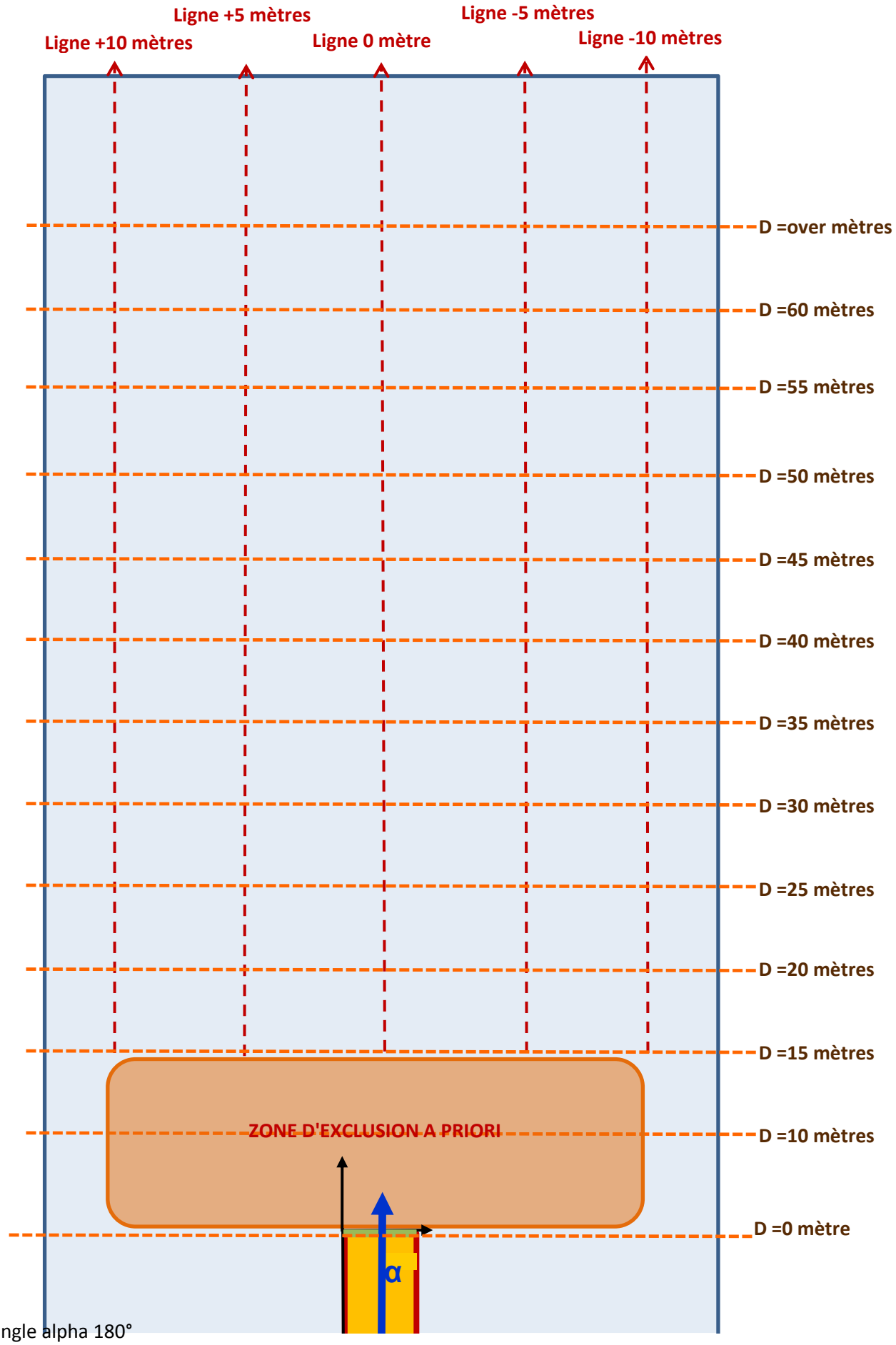




NOx - angle alpha 180°

Traçage du zonage toxicologique NOx mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 180 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



NOx - angle alpha 180°

ANNEXE 4

Outil de zonage toxicologique CO

Zonage toxicologique du CO émis par le simulateur feu

- Choix de la valeur toxicologique :

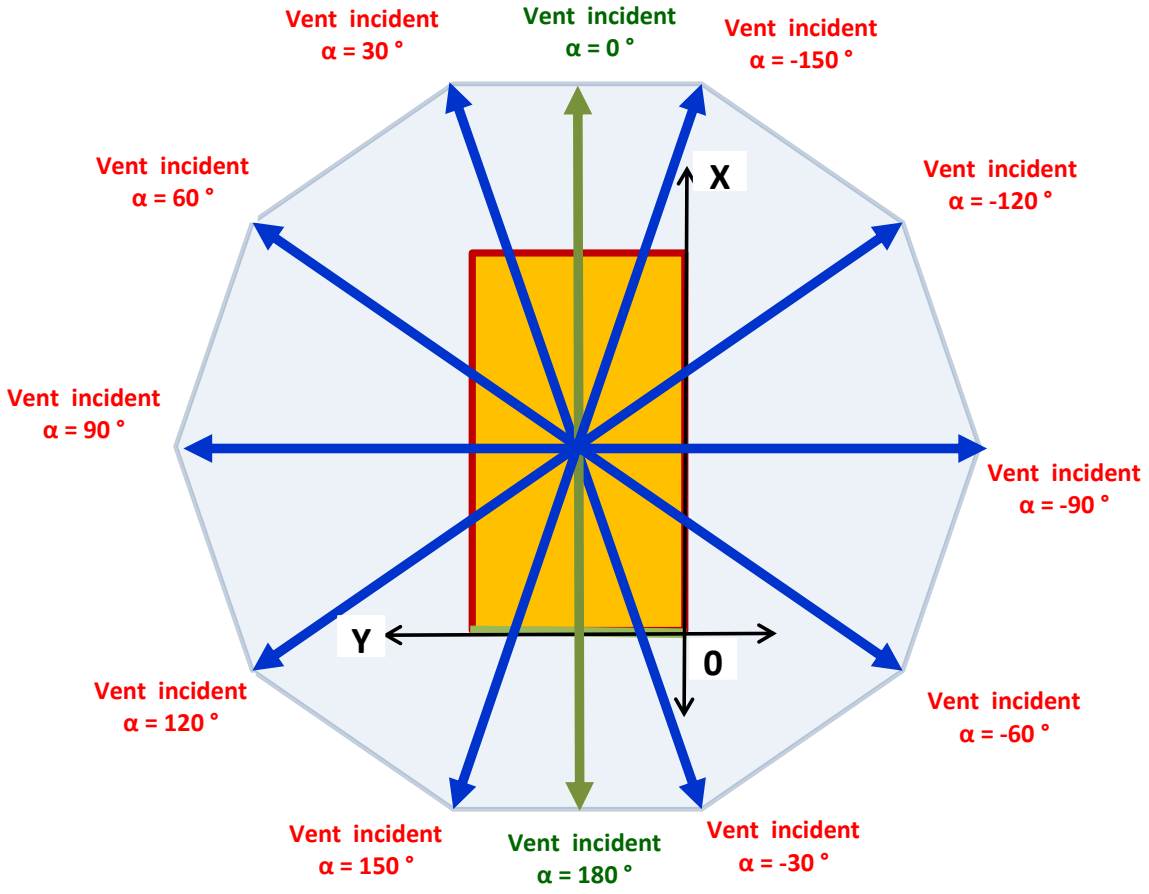
- Durée d'un brûlage : environ 30 minutes donc choix de valeurs toxicologiques à 30 minutes,
- Absence de Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises et d'AEGL,
- Valeur toxicologique du CO donnée par les ERPG,
- Valeur retenue de l'ERPG1 - 60 minutes pour le CO à 200 ppm.

- Conditions de la simulation réalisée avec Fire Dynamic Simulator :

- Température : 25 °C,
- Hygrométrie : 40 %,
- Hauteur de la mesure toxicologique : 1,80 mètre.

- Utilisation de l'outil de zonage toxicologique :

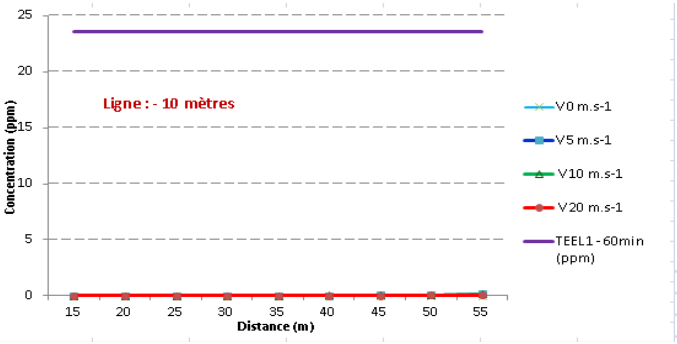
1. Sélectionner l'onglet avec l'angle incident du vent par rapport à l'entrée du simulateur feu (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). Se reporter à la rosace des vents :



2. Déterminer la vitesse du vent (0, 5, 10 15, 20 m.s-1),
3. Pour chaque ligne de calcul verticale (-10 mètres, -5 m, 0 m; +5m, +10m), déterminer sur le graphique correspondant la distance pour laquelle le seuil toxicologique sera atteint,
4. Reporter chacune de ces valeurs sur les 5 lignes de la cartographie toxicologique,
5. Tracer la plume correspondante en reliant les points,
6. Réaliser ce travail pour les NOx, le SO2, CO, les suies,
7. En déduire un zonage toxicologique général d'exclusion par compilation des 4 données du point n°6,
8. En phase d'utilisation, les concentrations des toxiques HCN (AEGL1-30 min : 2,5 ppm) et HCl (AEGL1-30 min : 1,8 ppm) devront être prises en compte. Pour cela, des relevés de concentration, dans la zone d'exclusion définie ci-dessus, seront réalisés afin de s'assurer que ces derniers soient inférieurs aux seuils toxicologiques de références.

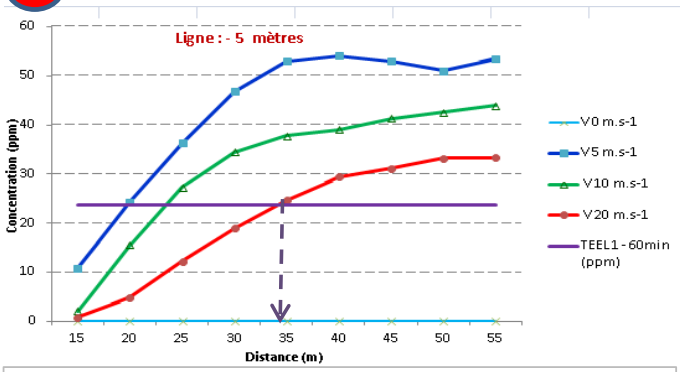
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

1



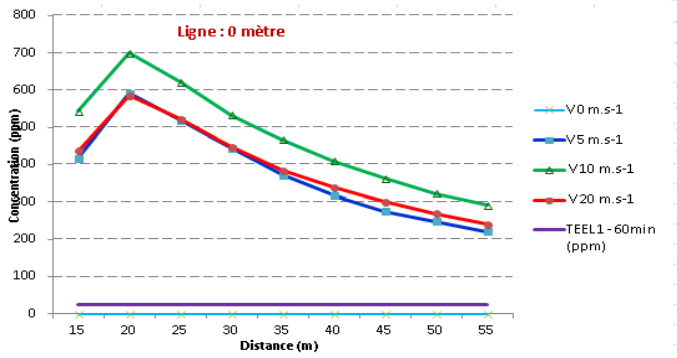
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne -10 m à la distance de 15 m.

2

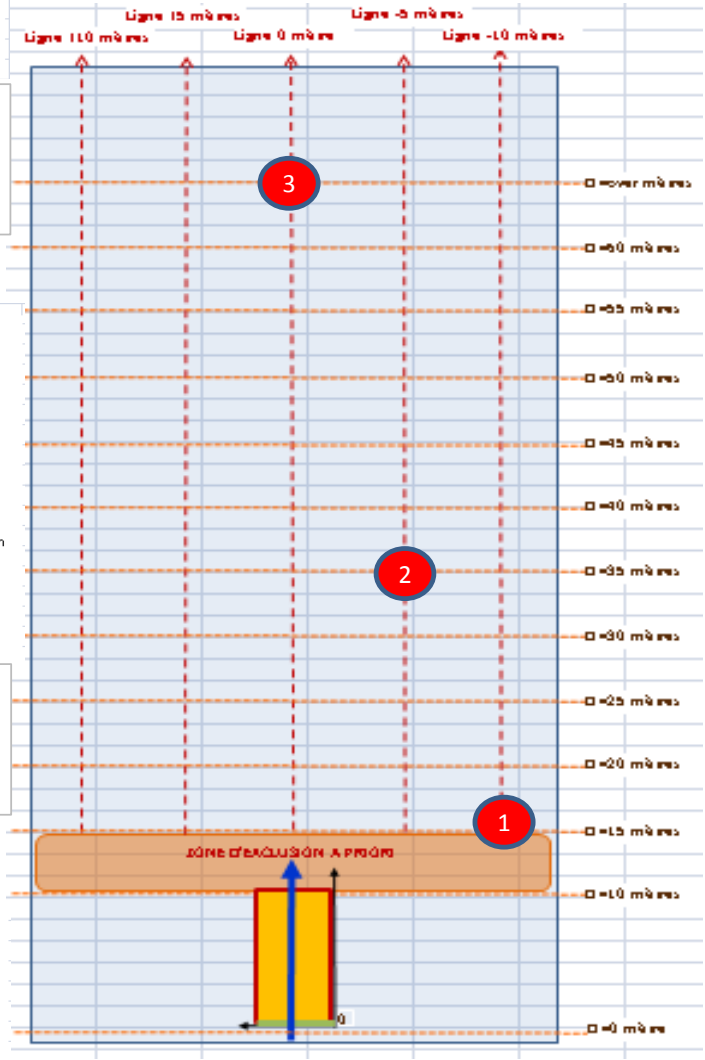


La concentration en toxiquesest atteinte pour la distance de 35 m.
Positionnement du point sur la ligne -5 m à la distance de 35 m.

3

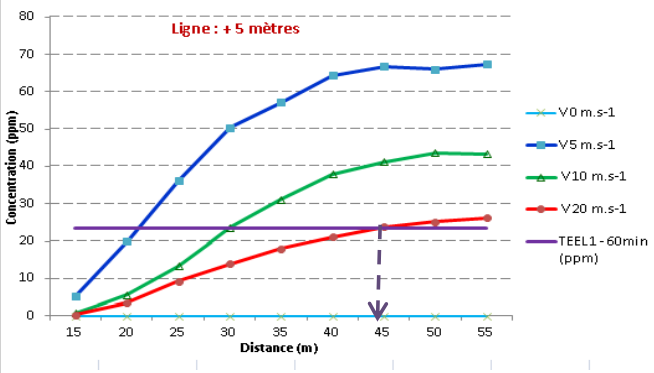


La concentration en toxique est dépassée de 15 m à 55 m.
Positionnement du point sur la ligne 0 m au delà de 55 m.



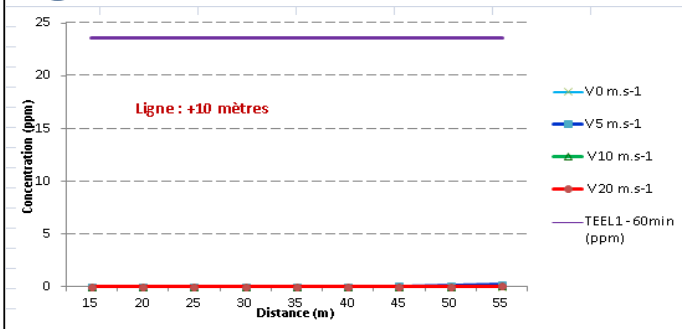
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

4

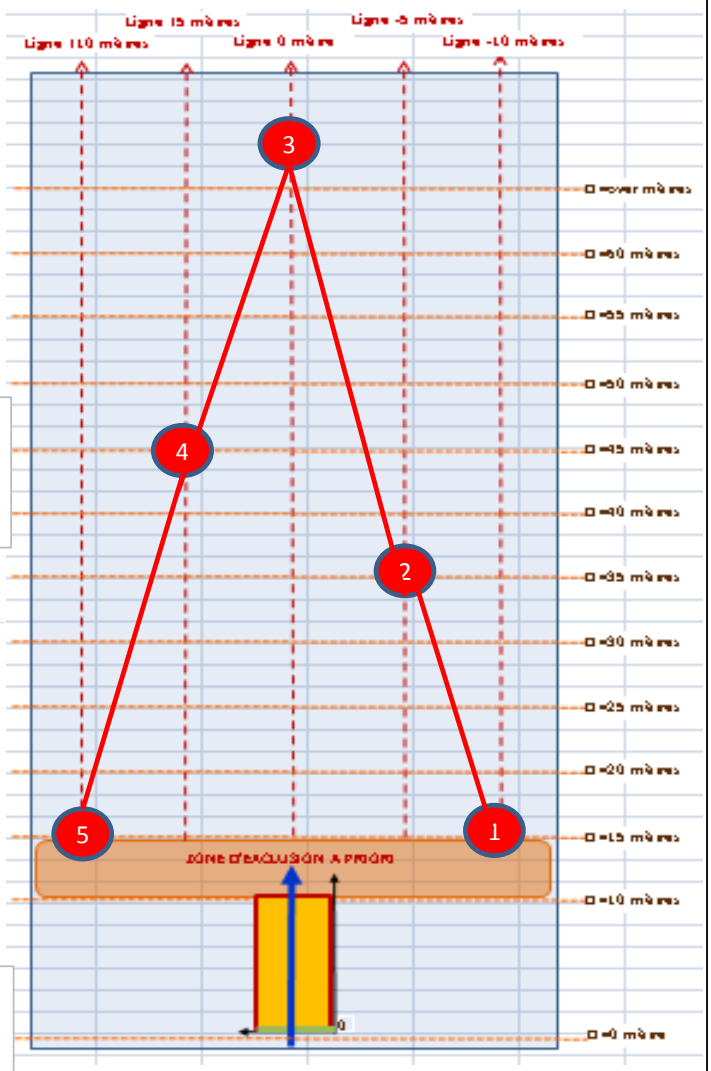


La concentration en toxiques est atteinte pour la distance de 45 m.
Positionnement du point sur la ligne +5 m à la distance de 45 m.

5



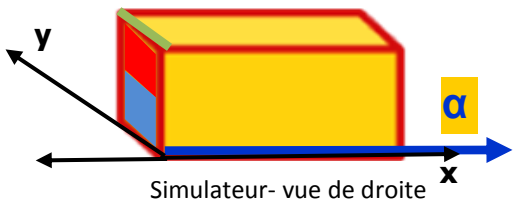
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne +10 m à la distance de 15 m.



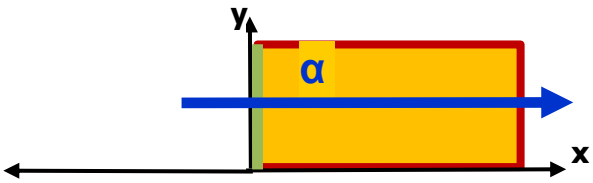
Finaliser l'outil pour le toxique considéré en reliant chaque point pour matérialiser la zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle aucune personne ne devra se trouver.
Les zones d'exclusion des 4 toxiques (NOx, SO2, CO et suies) devront être comparées afin de retenir la zone toxicologique majorante.

Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

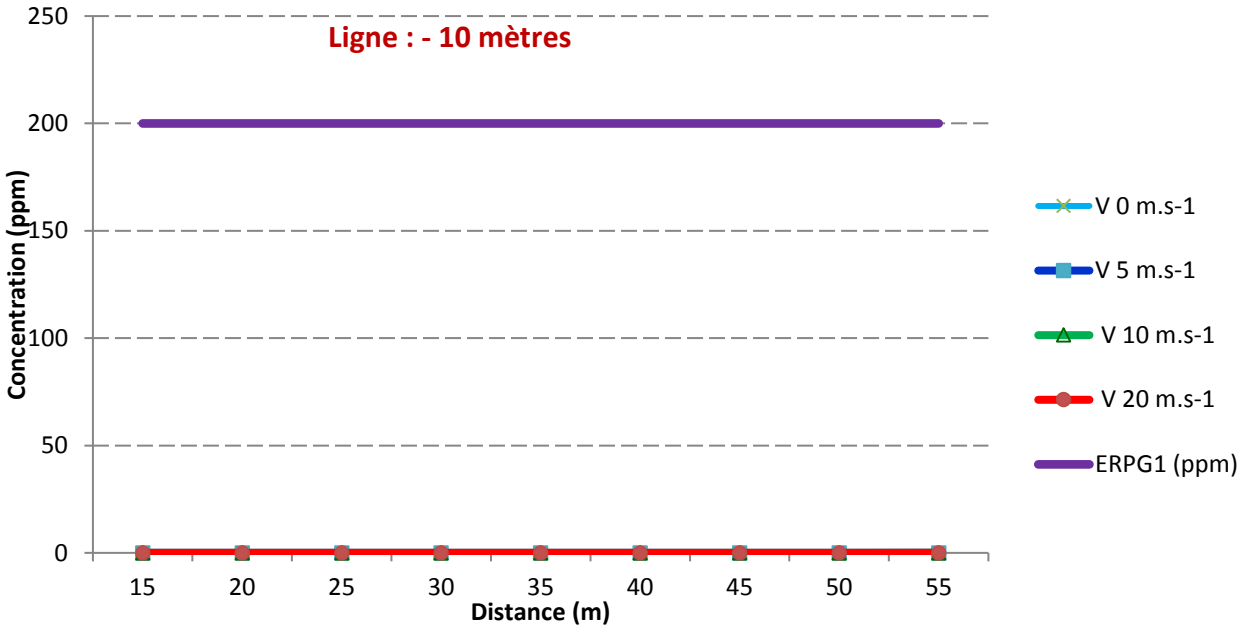
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 0 °

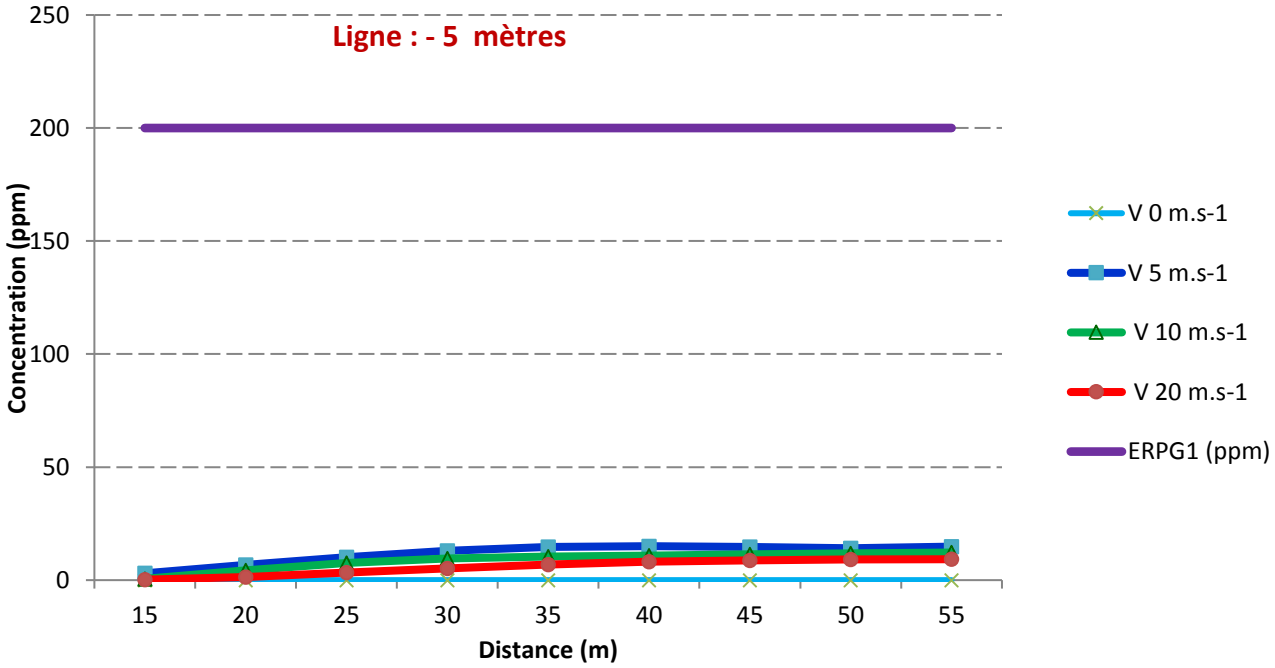


Simulateur- vue de droite

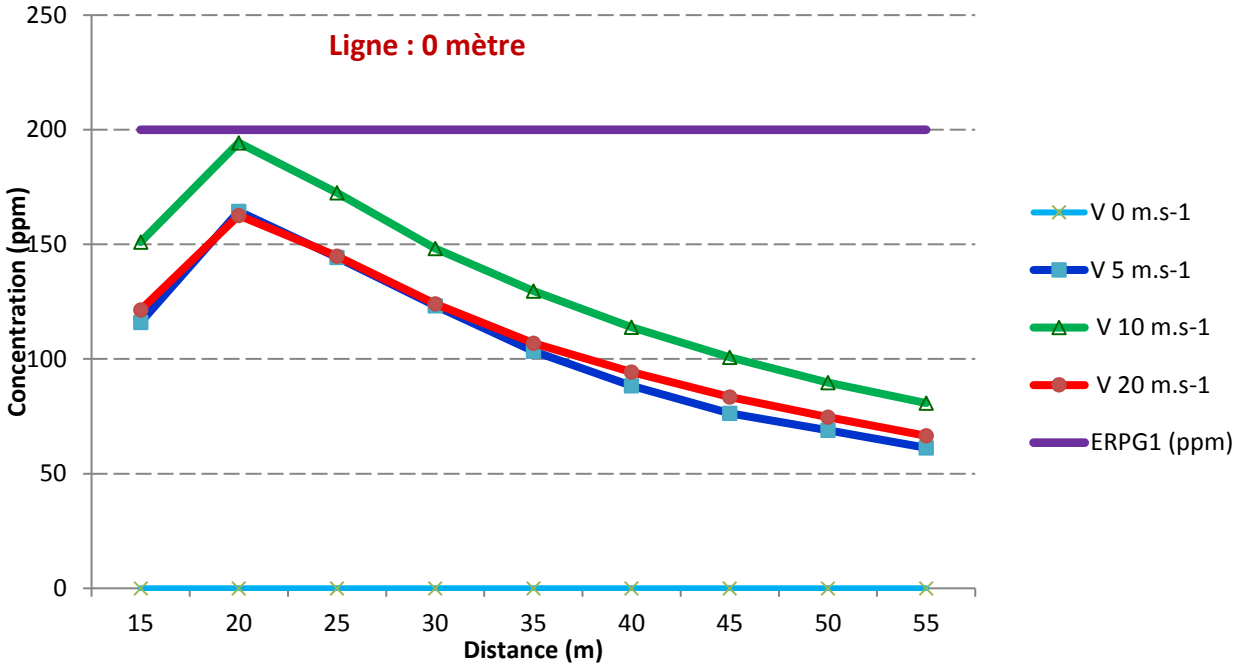


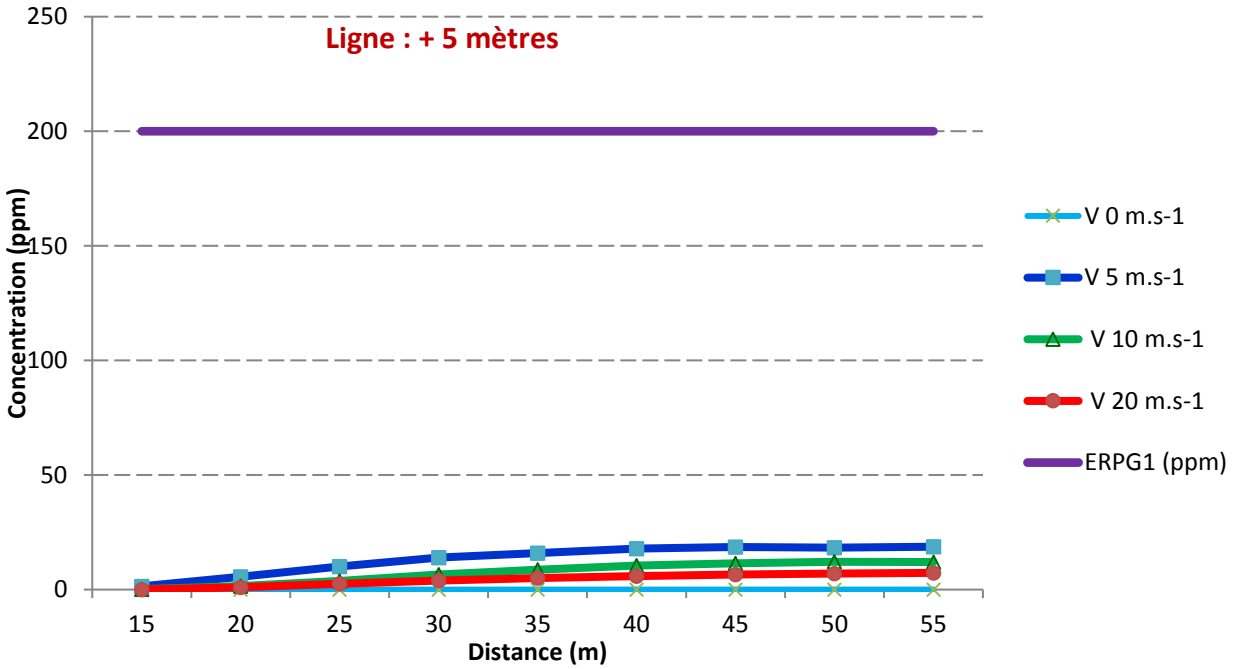
Simulateur - vue de dessus

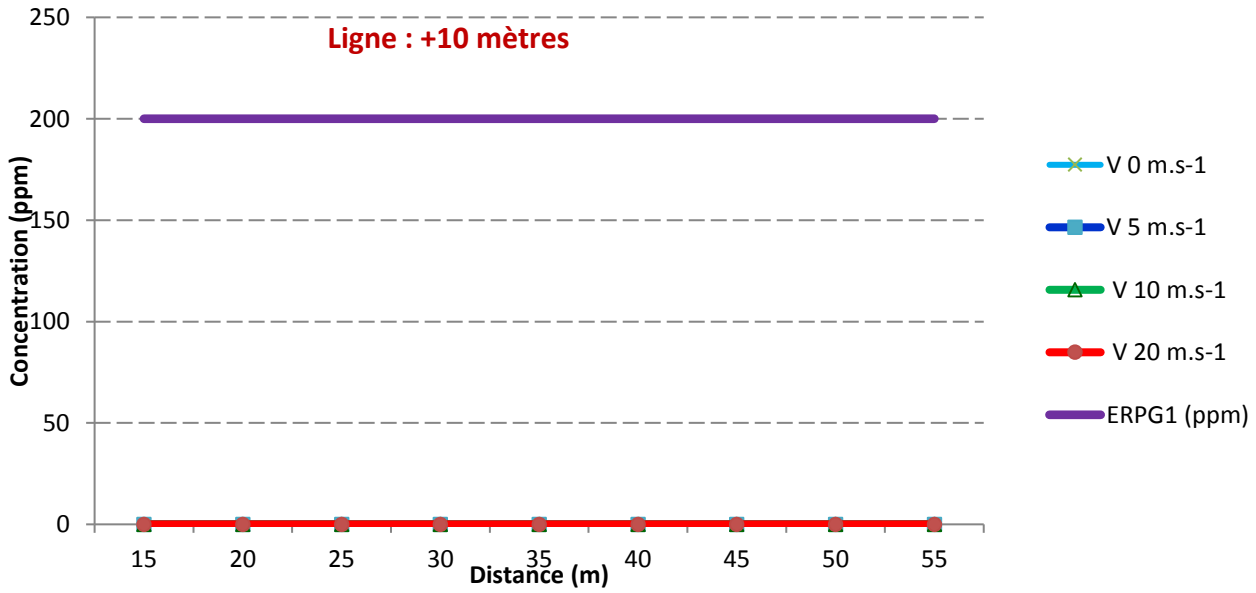




CO - angle alpha 0°



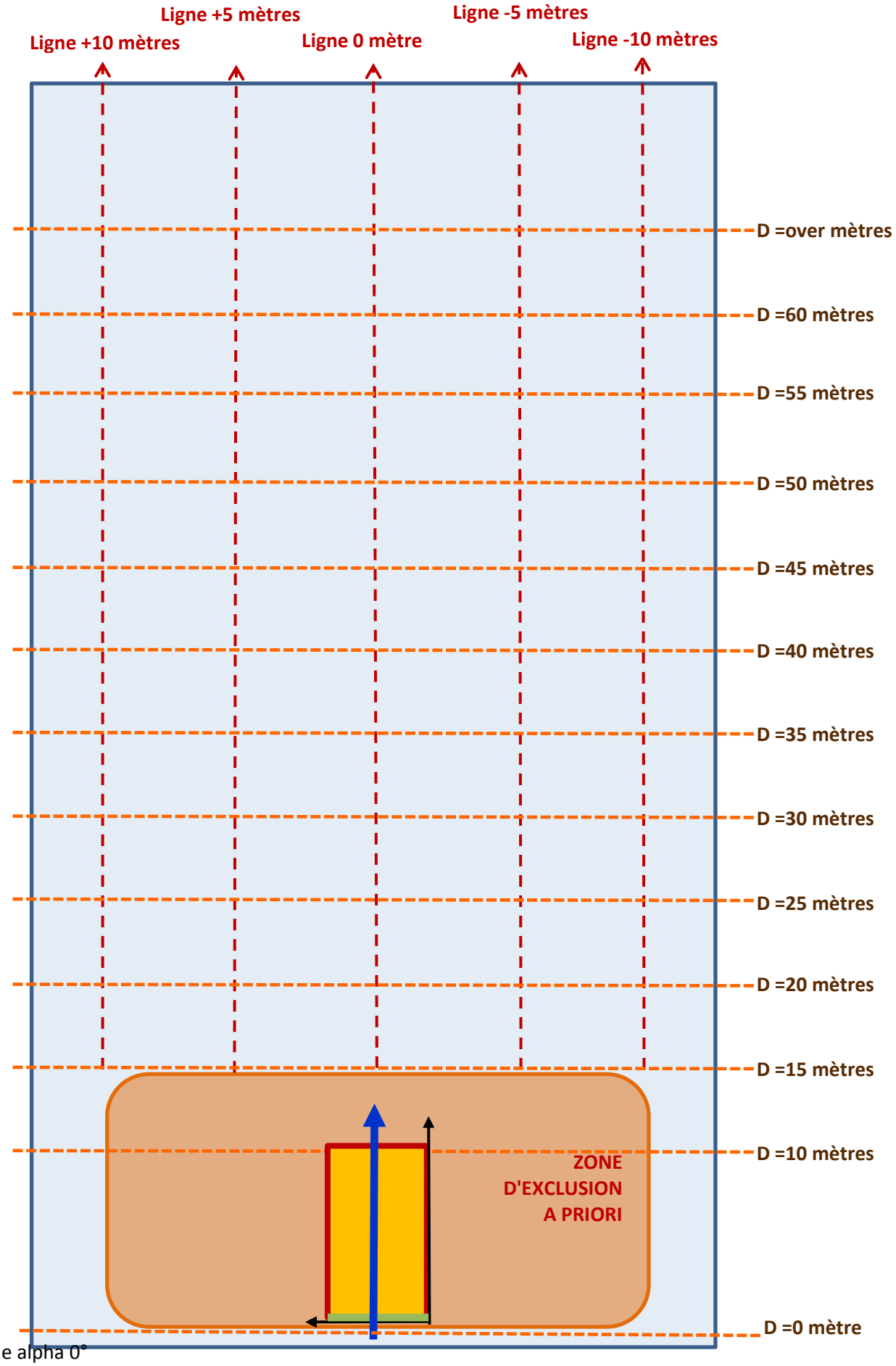




CO - angle alpha 0°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

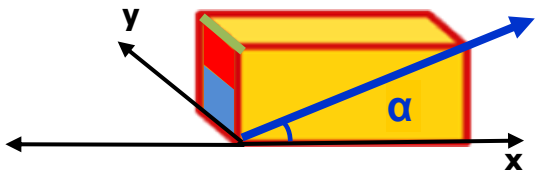
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 0 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



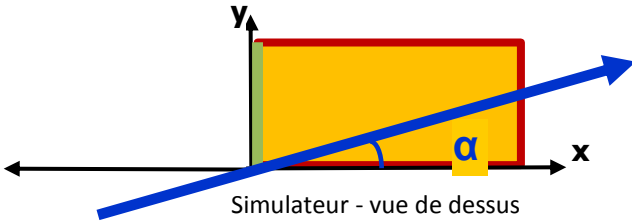
CO - angle alpha 0°

Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

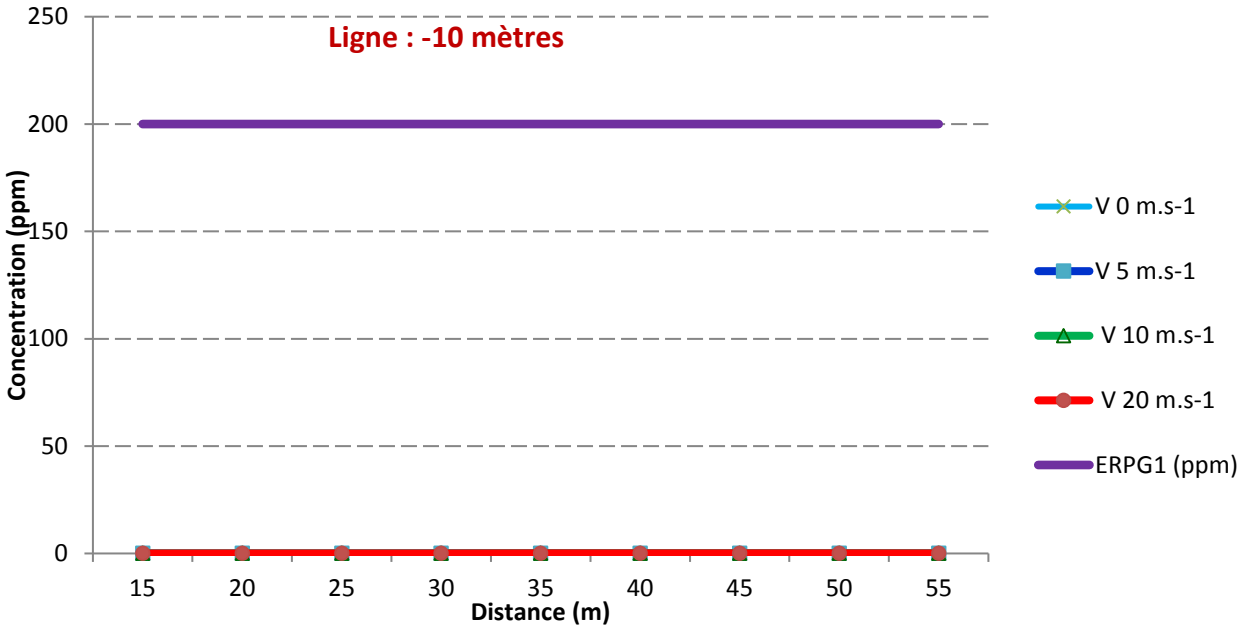
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 30 °

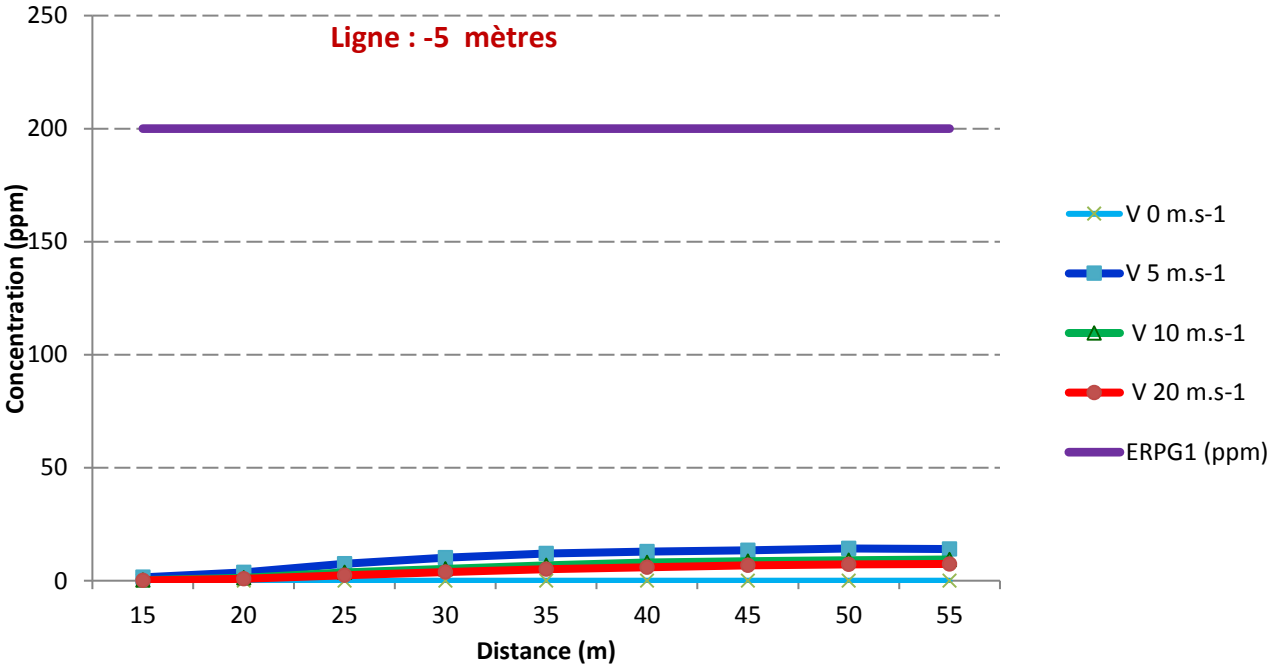


Simulateur- vue de droite

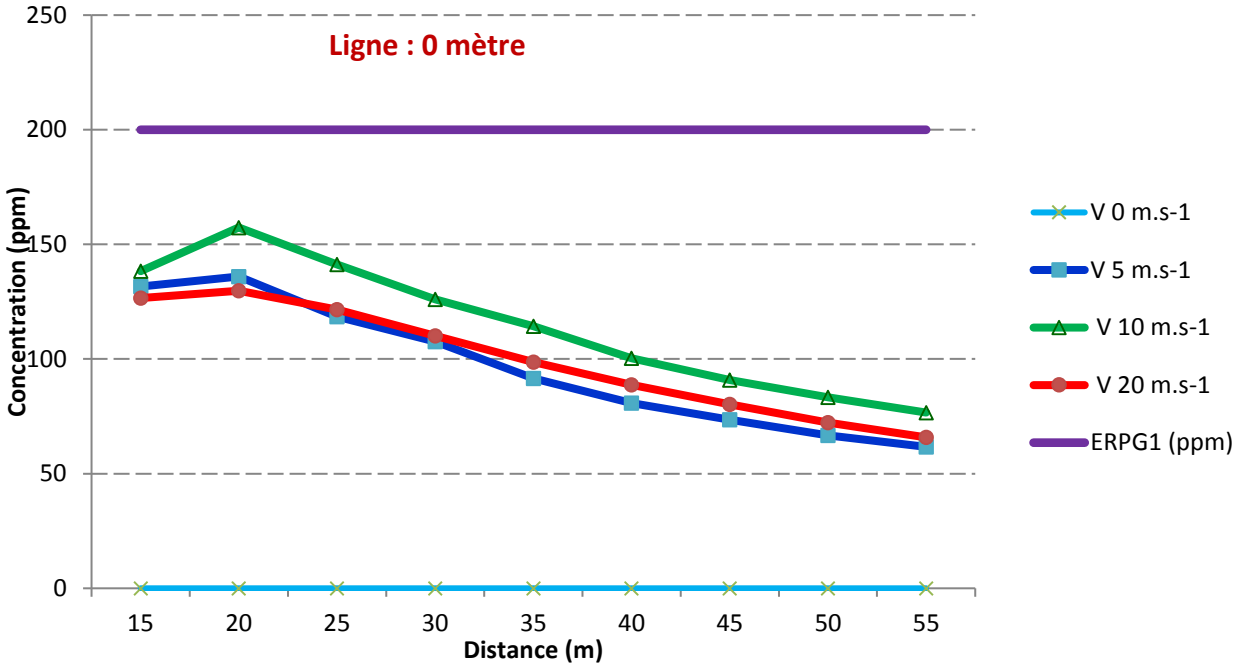


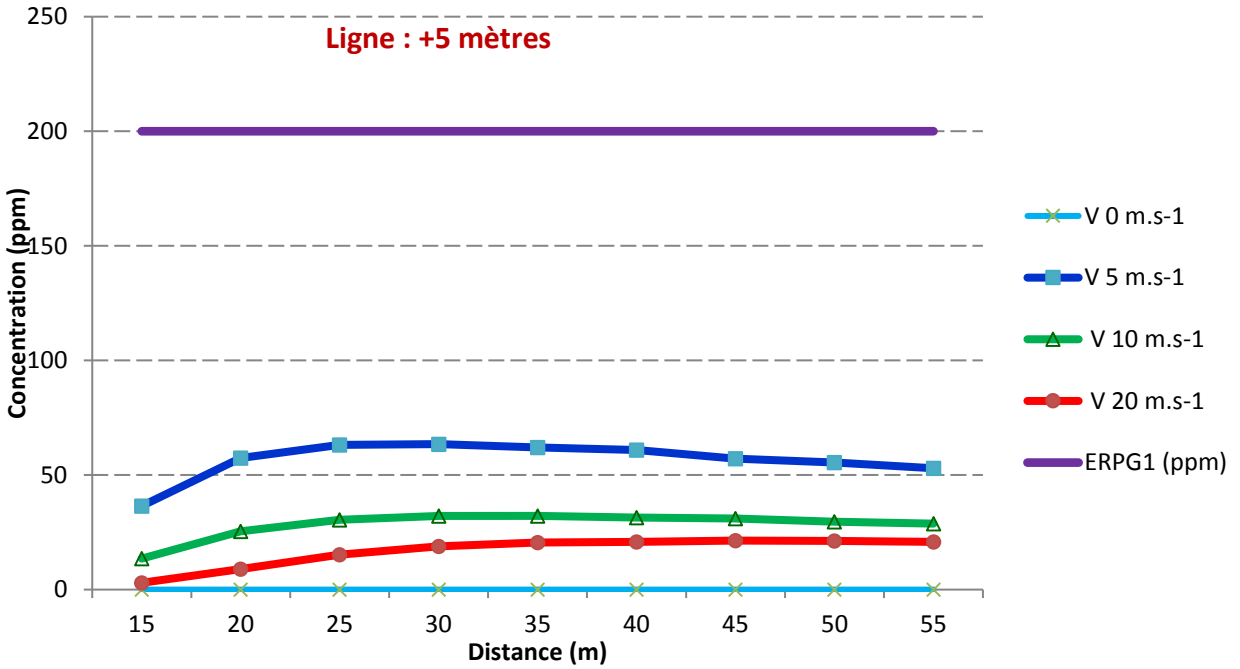
Simulateur - vue de dessus

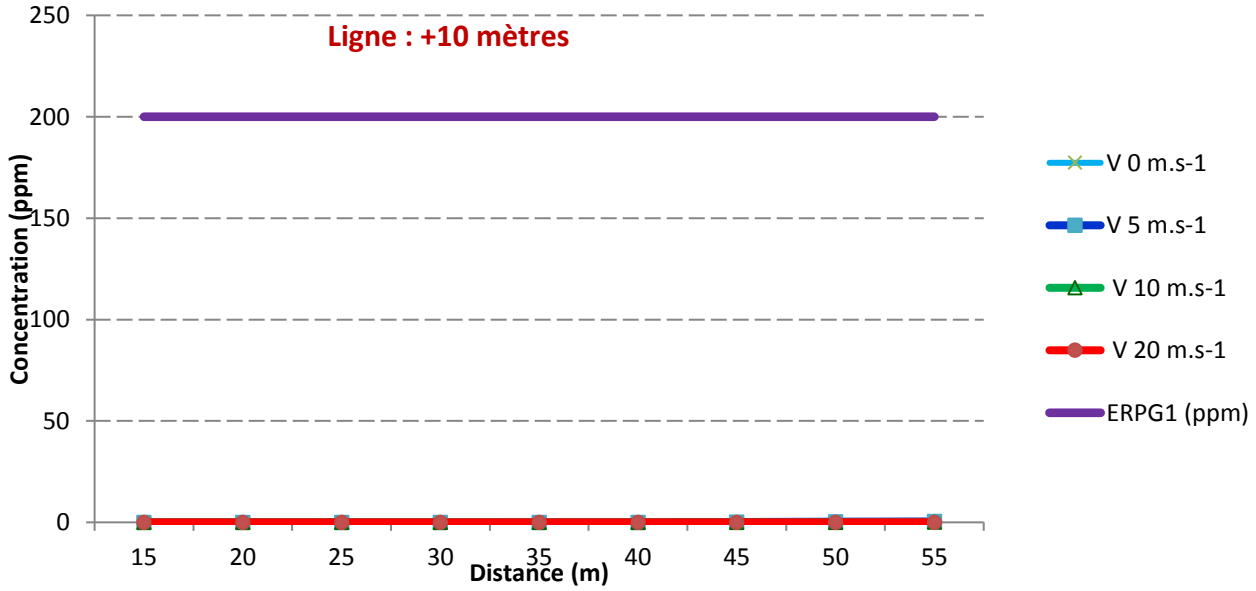




CO - angle alpha 30°



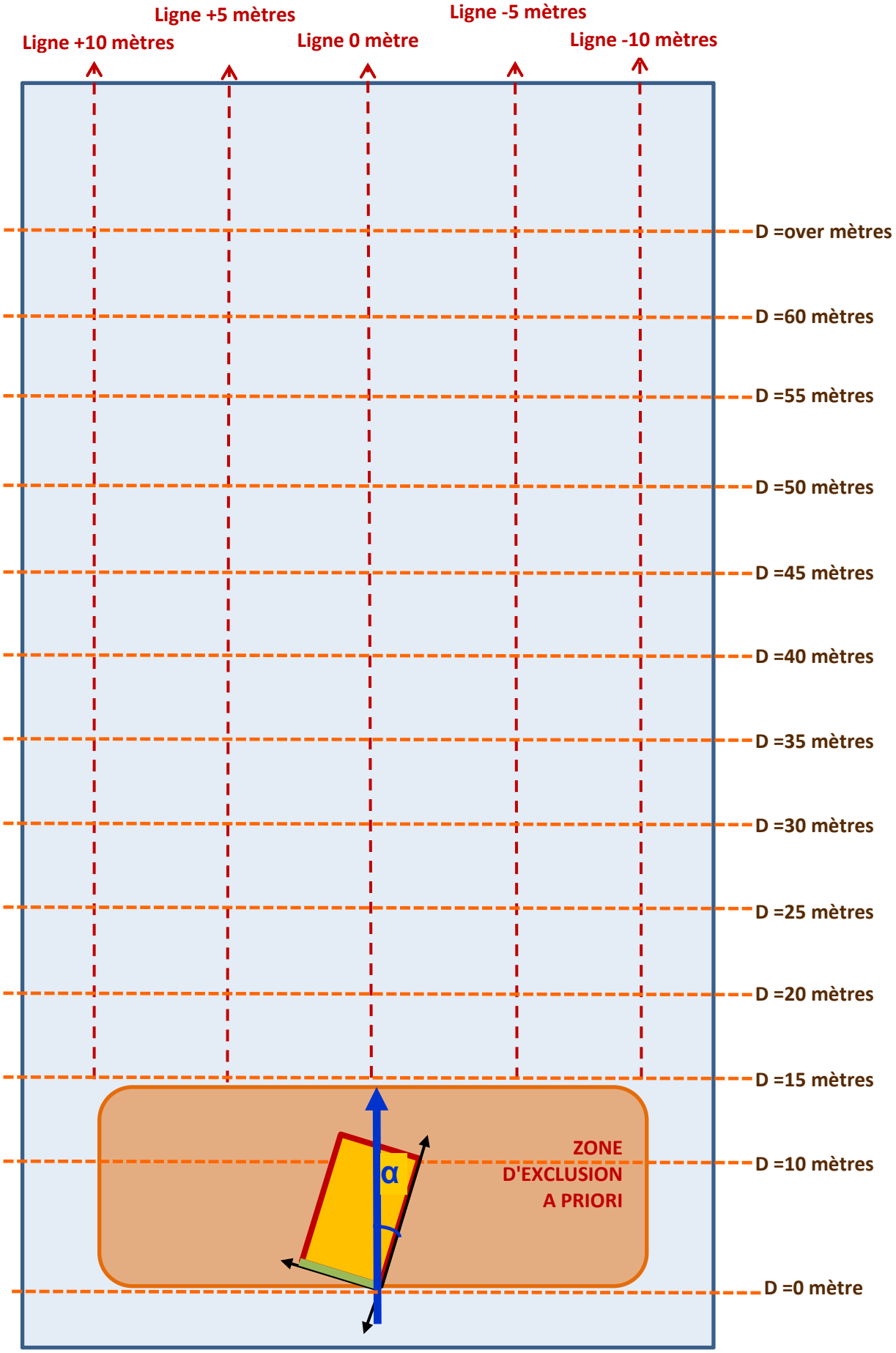




CO - angle alpha 30°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

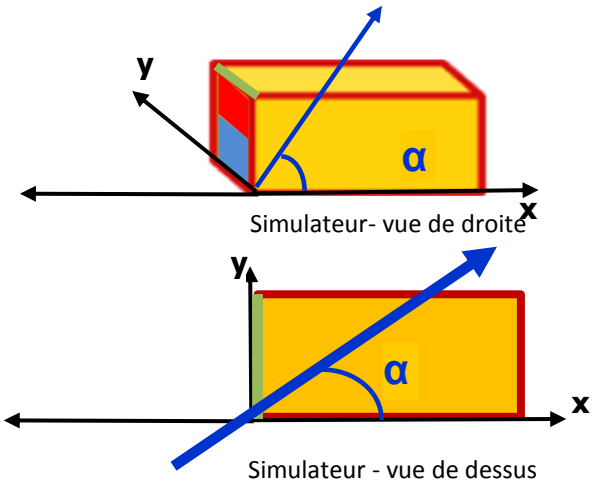
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 30 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

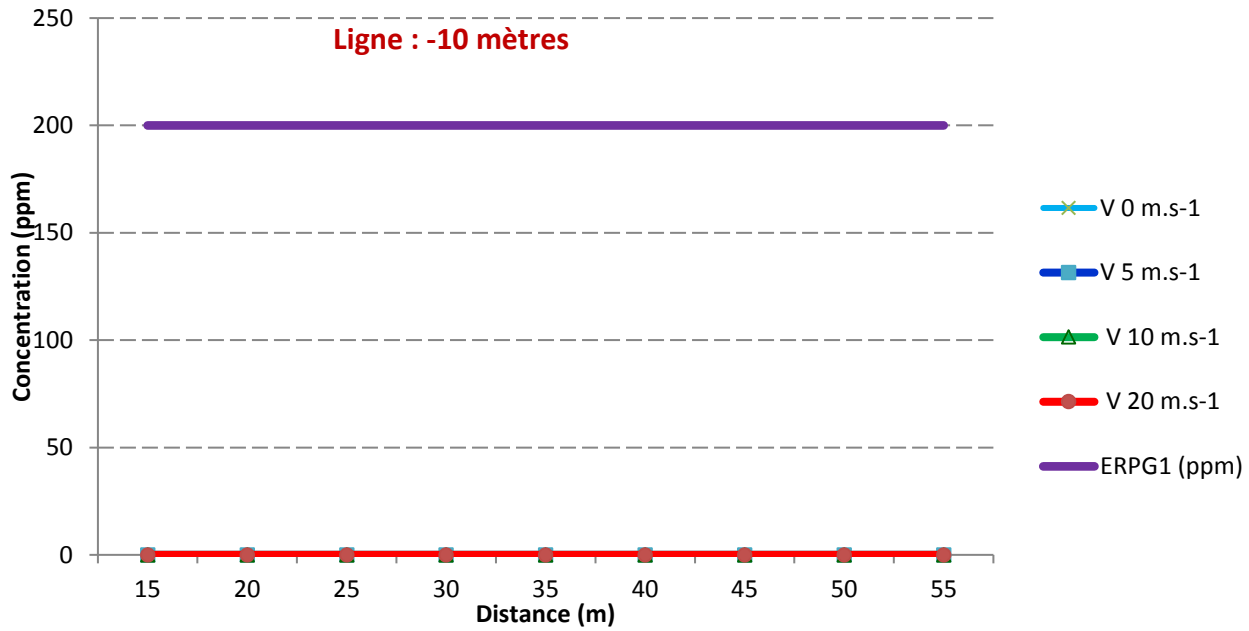


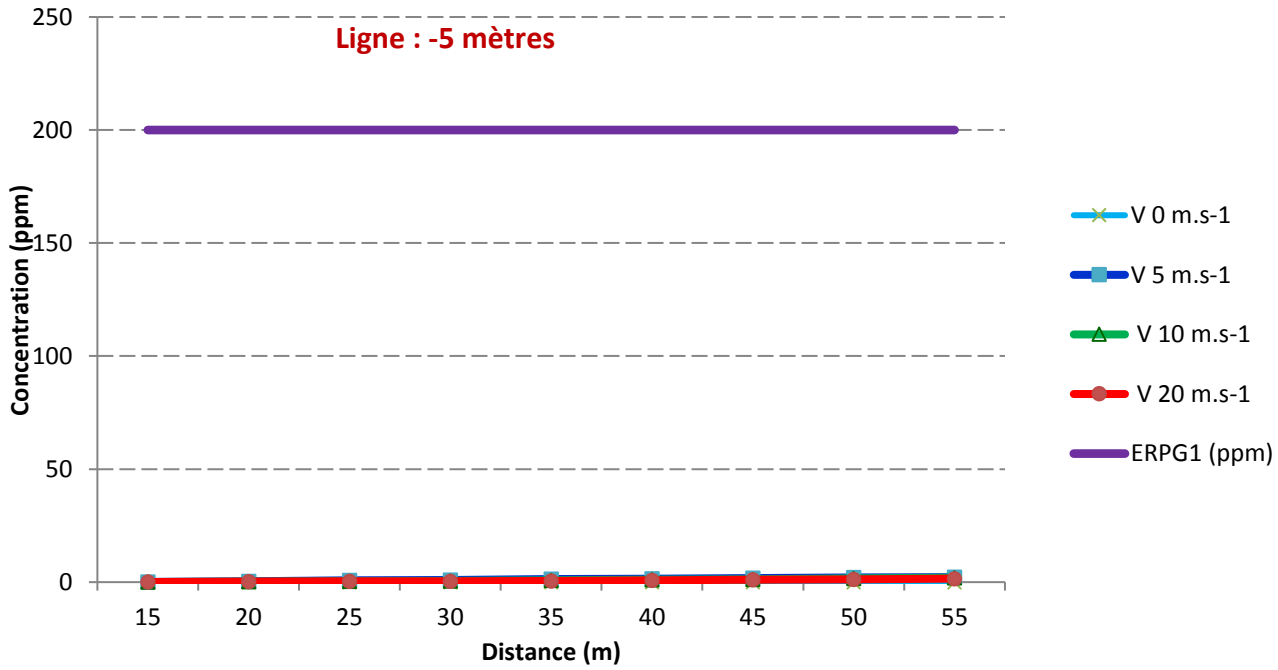
CO - angle alpha 30°

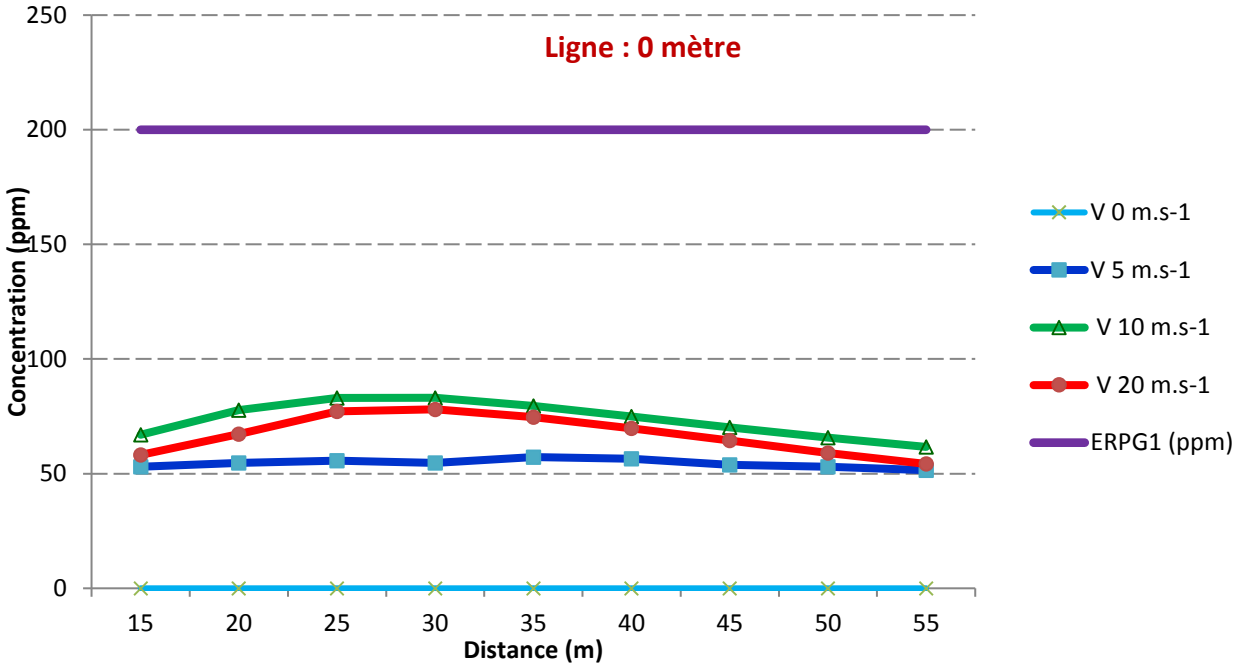
Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

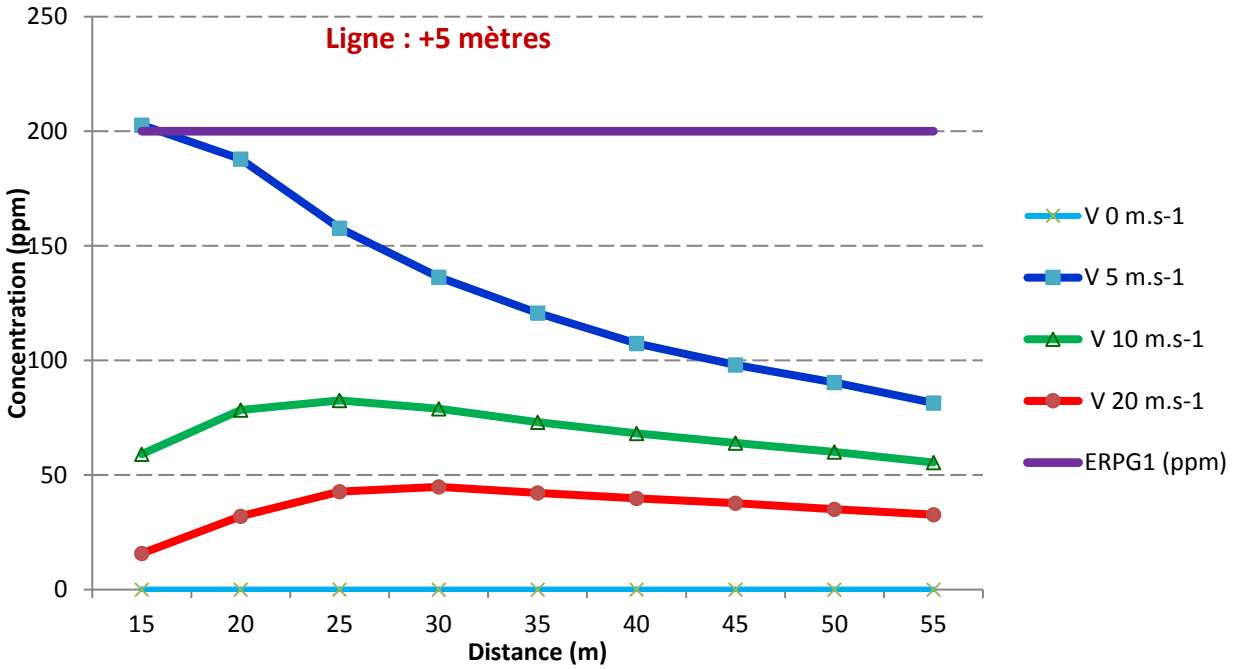
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 60 °

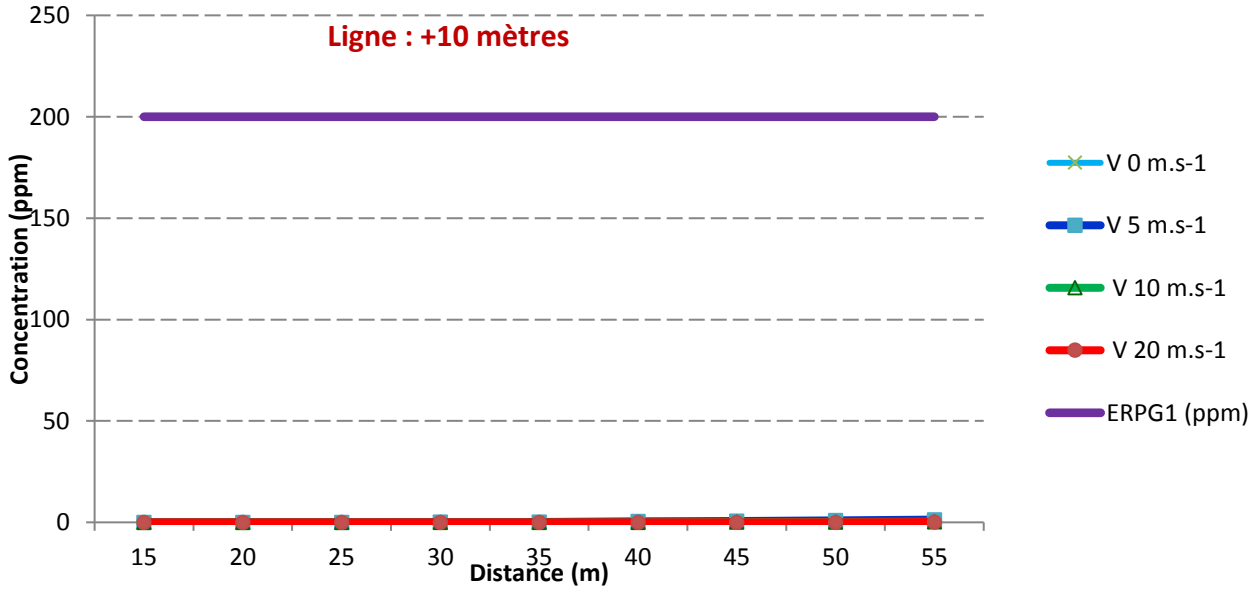








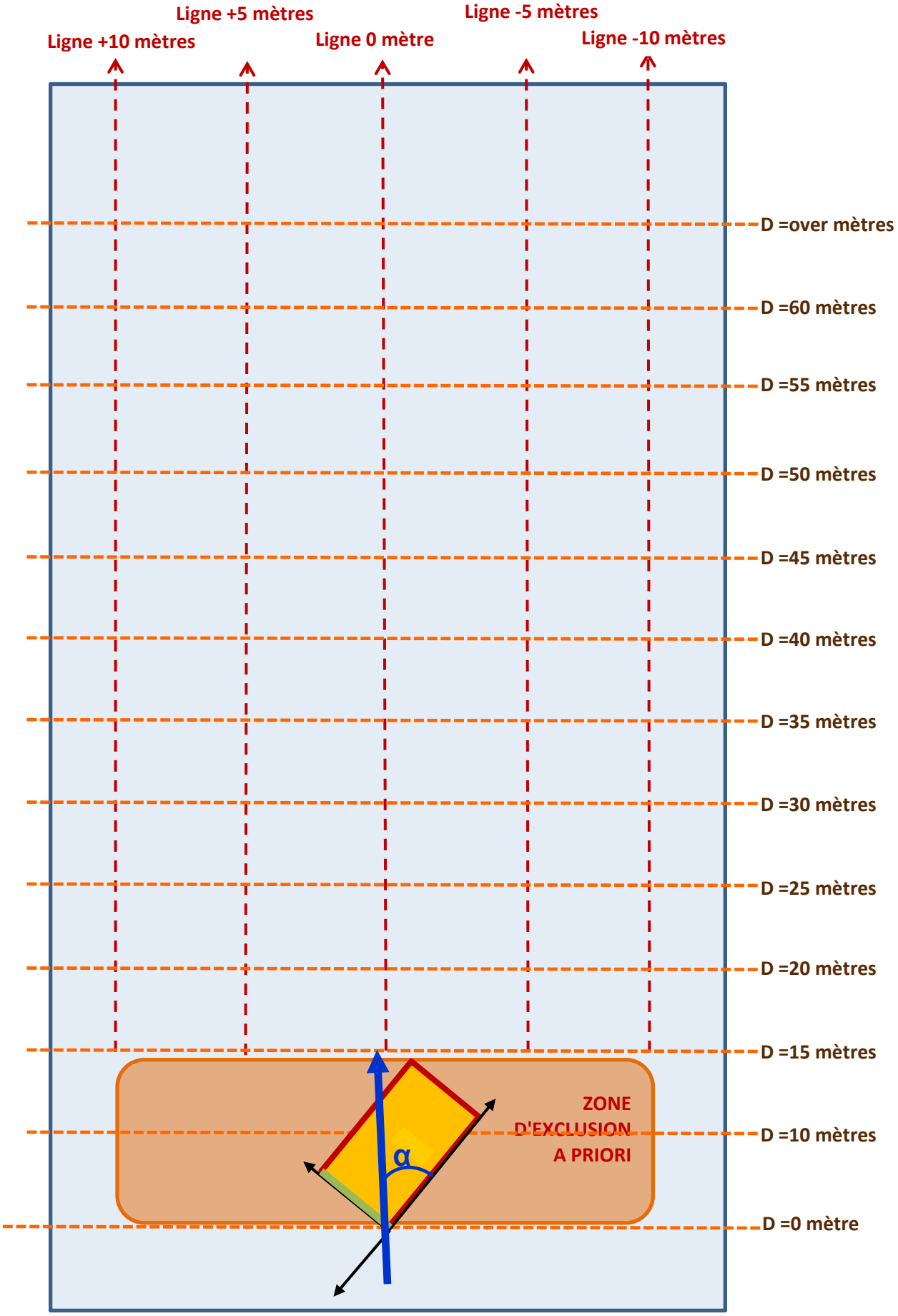




CO - angle alpha 60°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

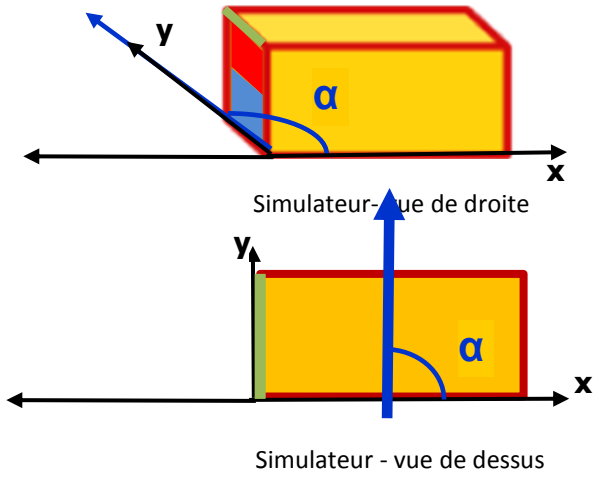
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 60 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

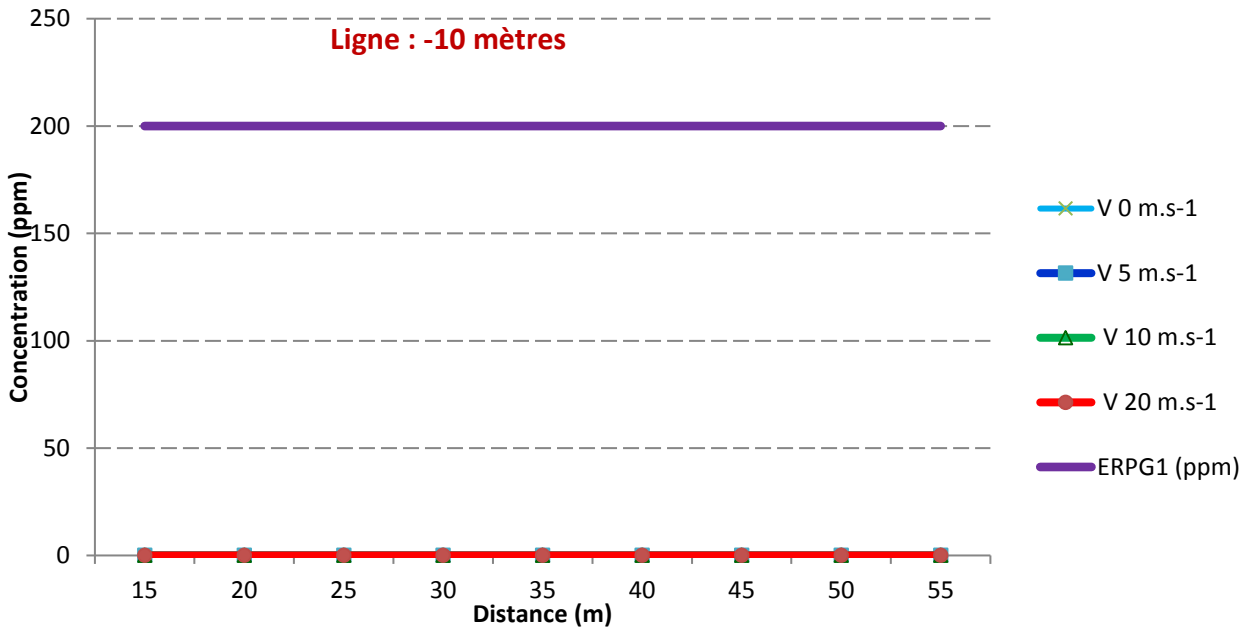


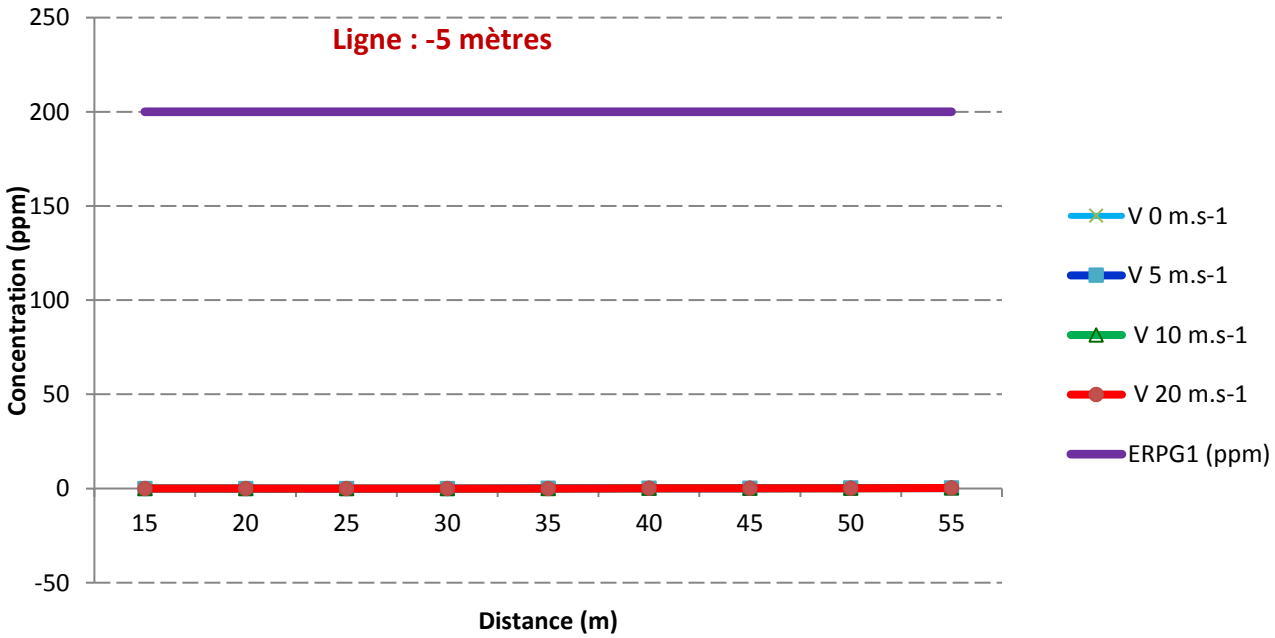
CO - angle alpha 60°

Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

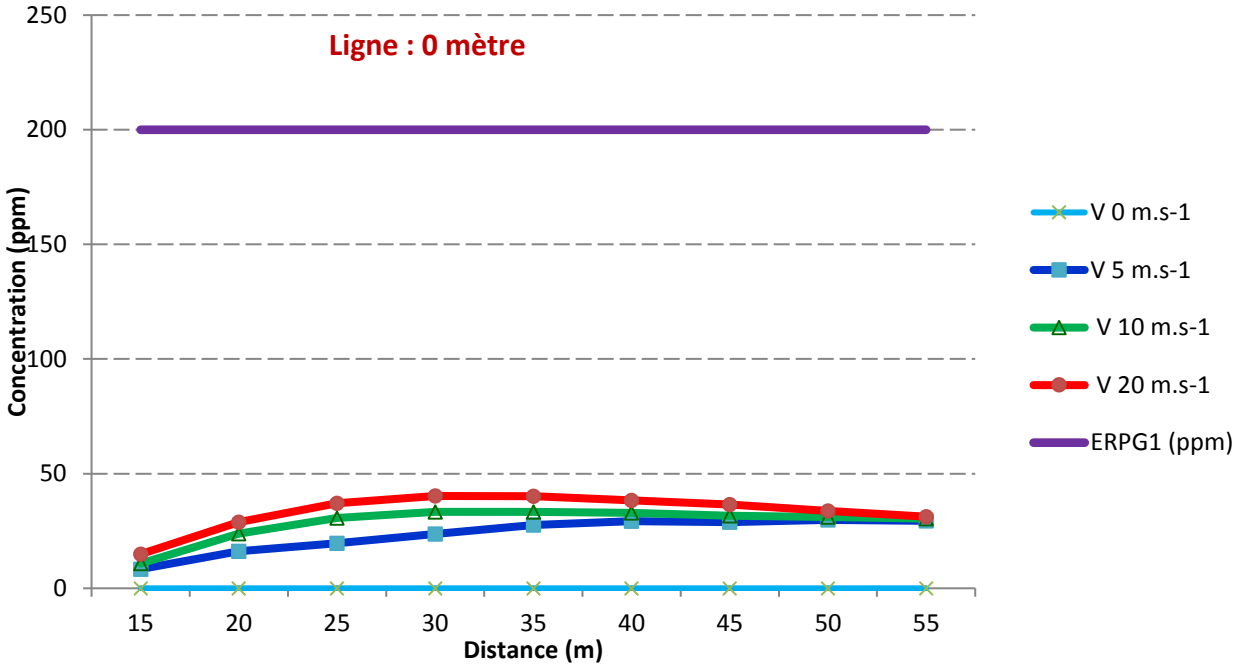
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α =90 °

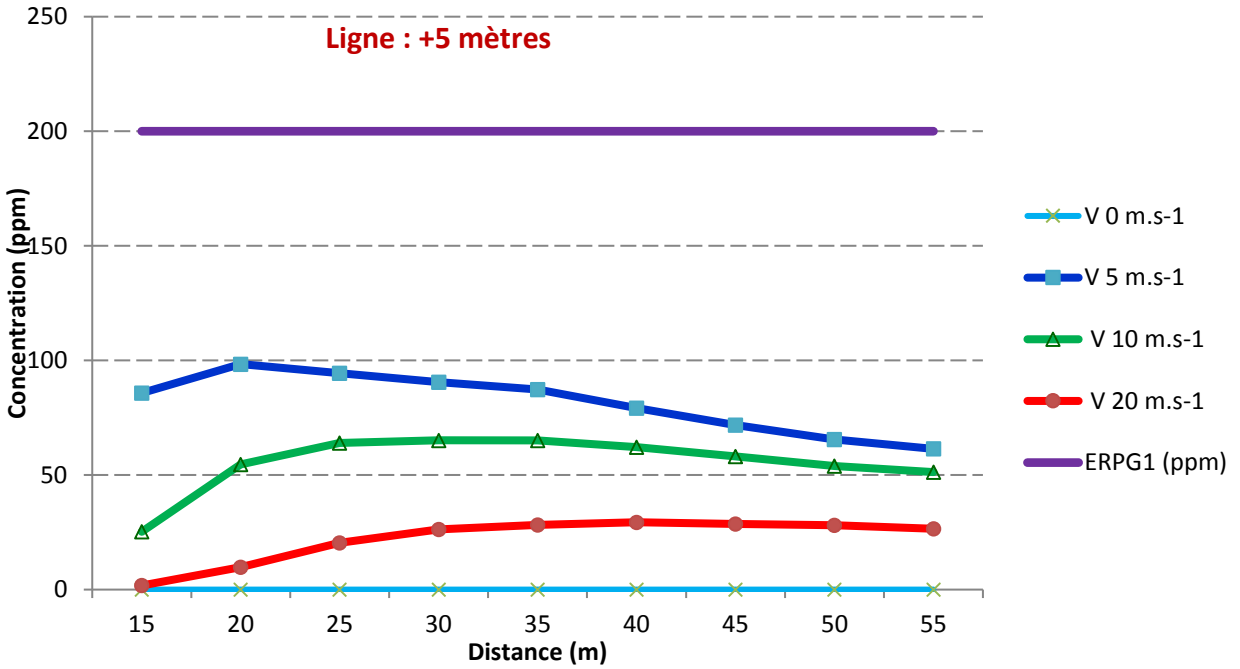


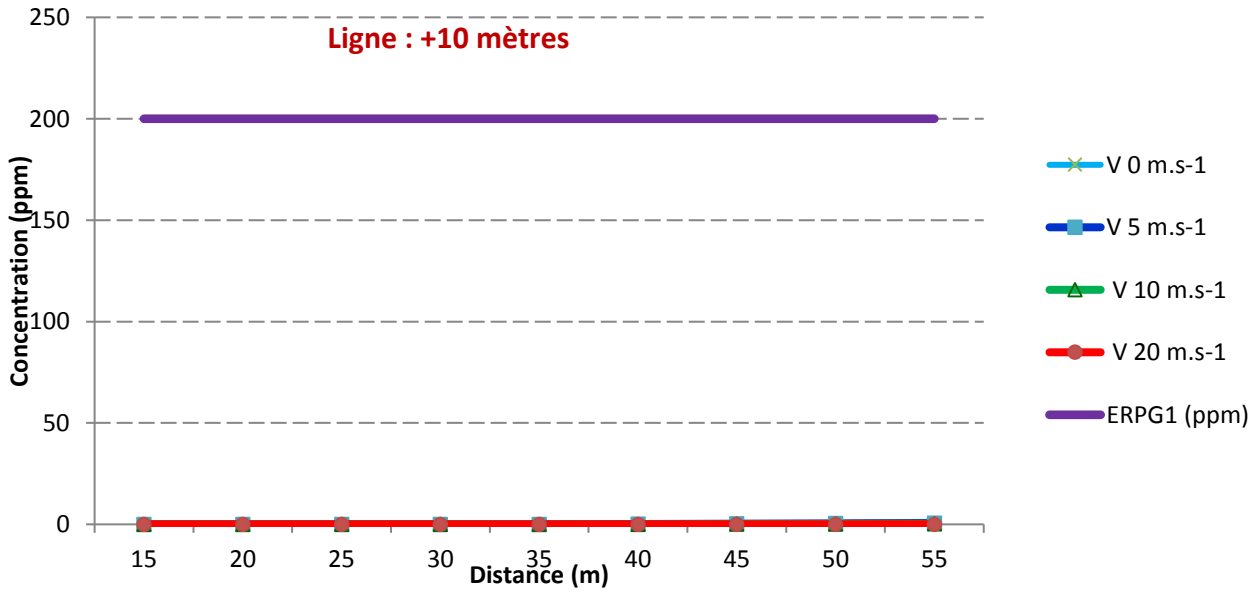




CO - angle alpha 90°



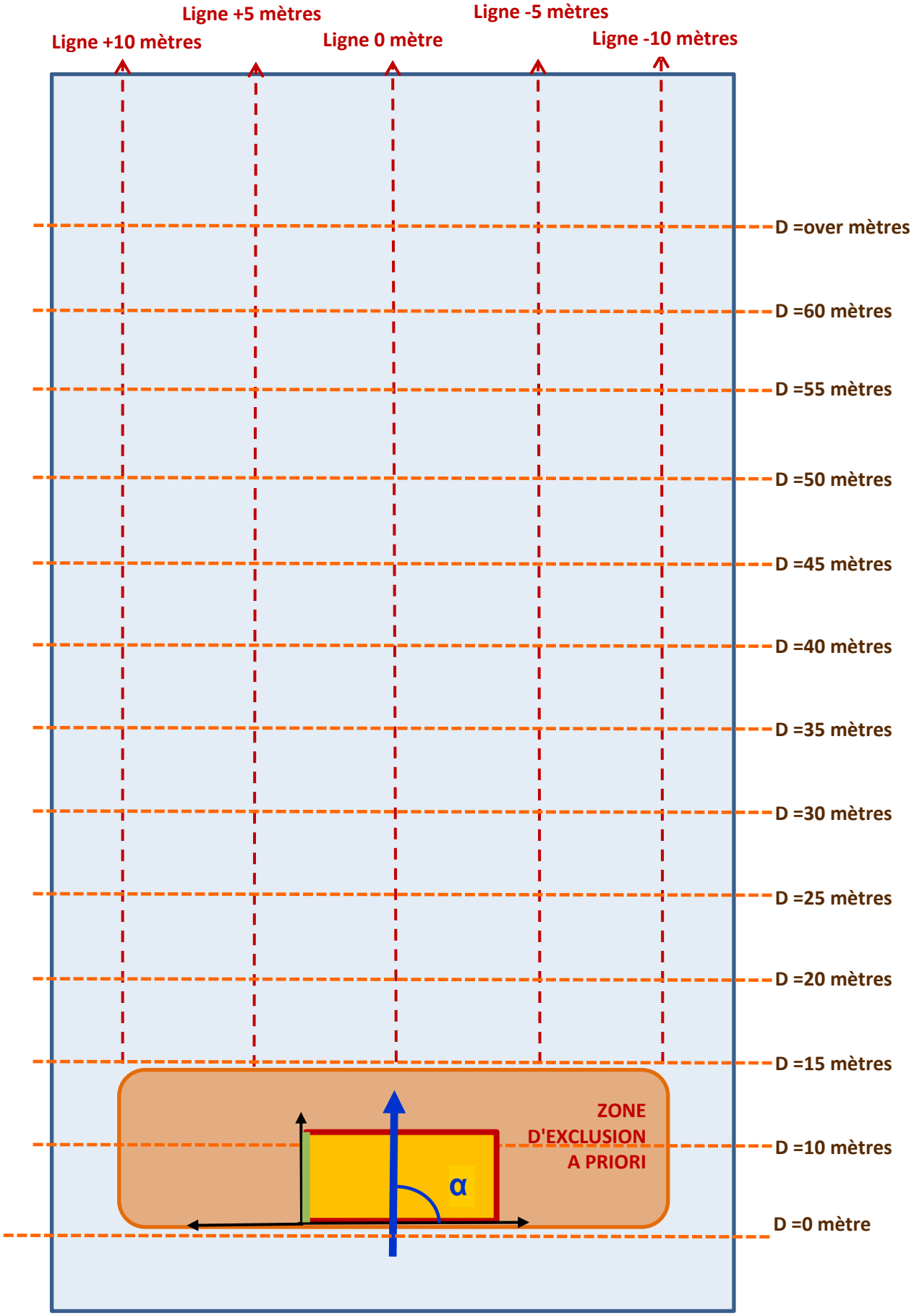




CO - angle alpha 90°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

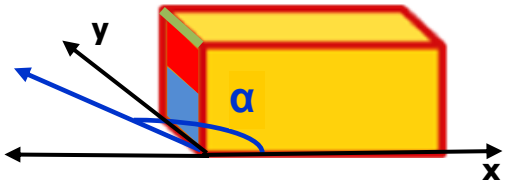
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 90 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



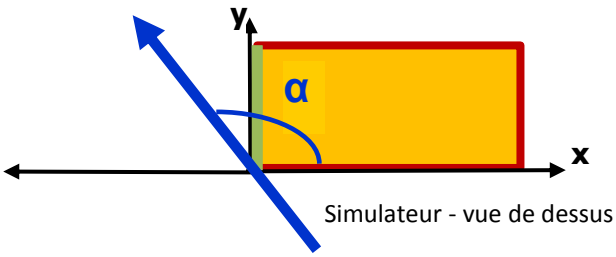
CO - angle alpha 90°

Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

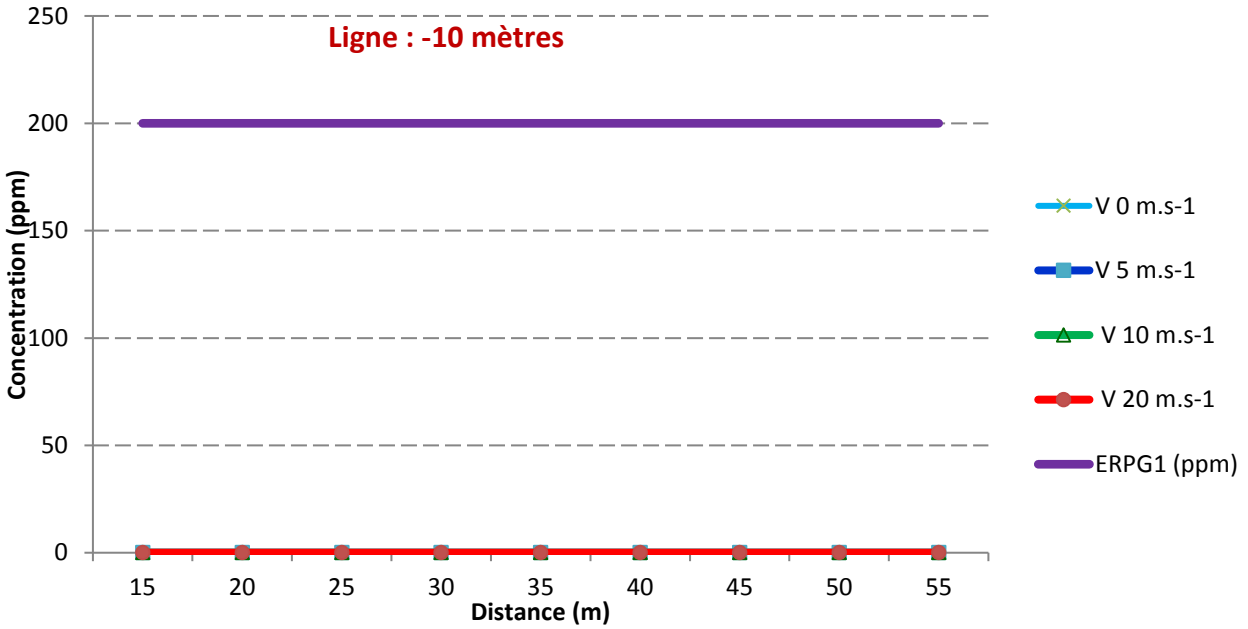
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 120 °

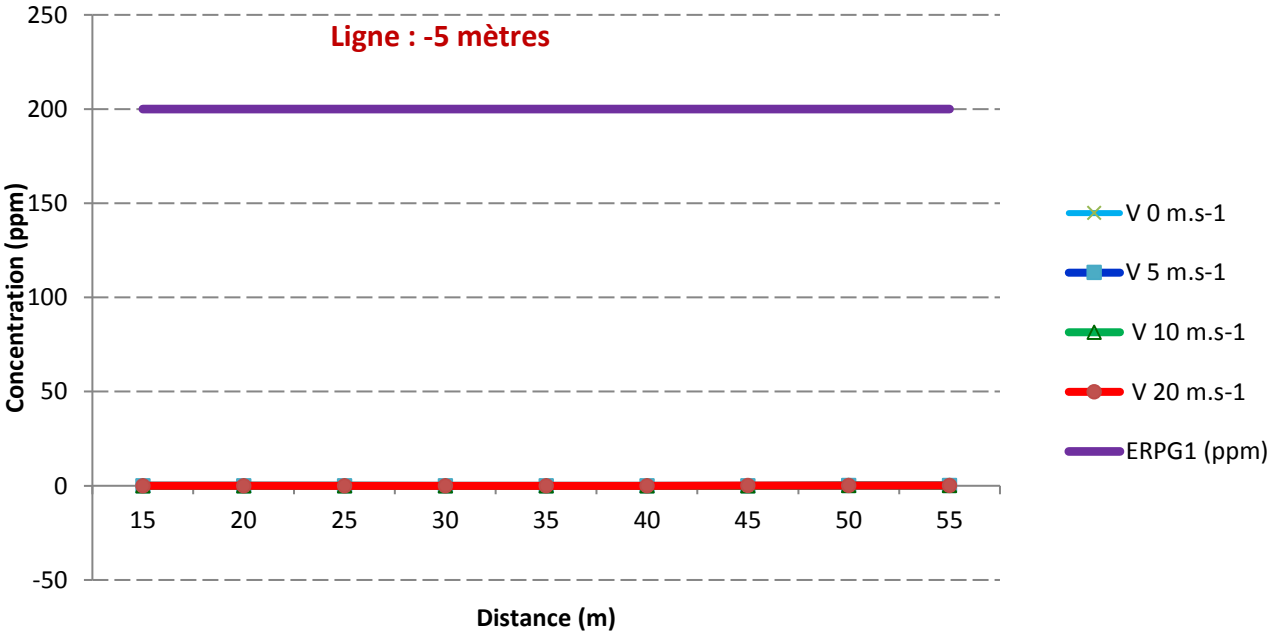


Simulateur- vue de droite

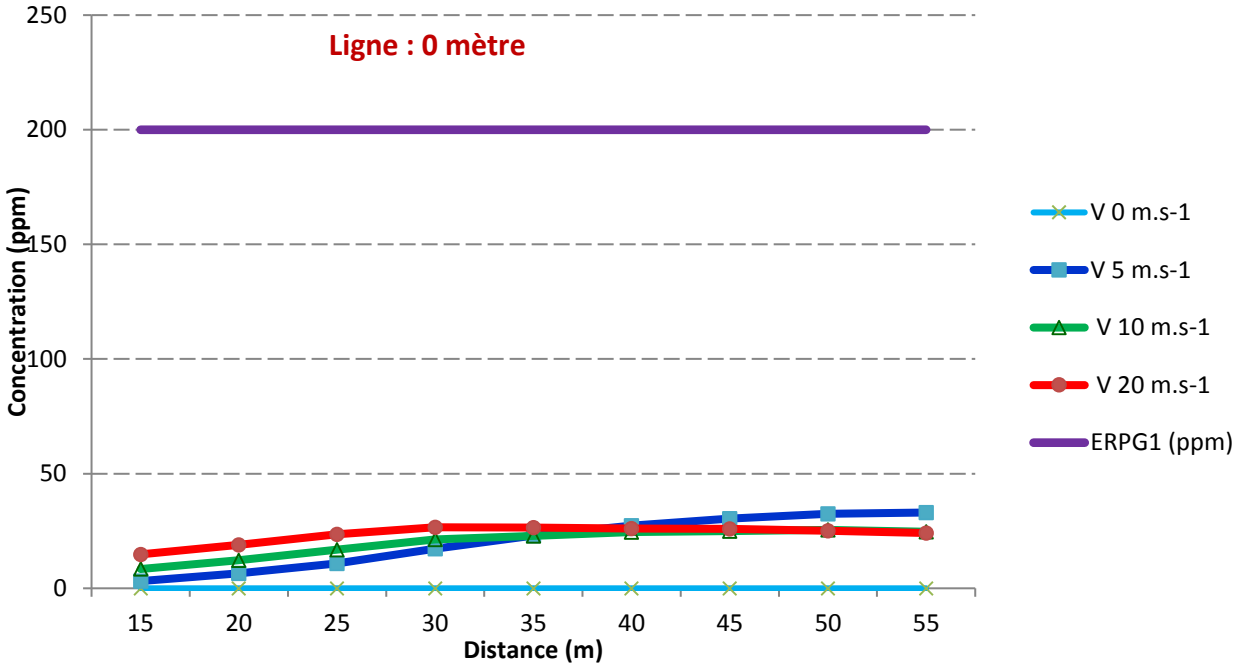


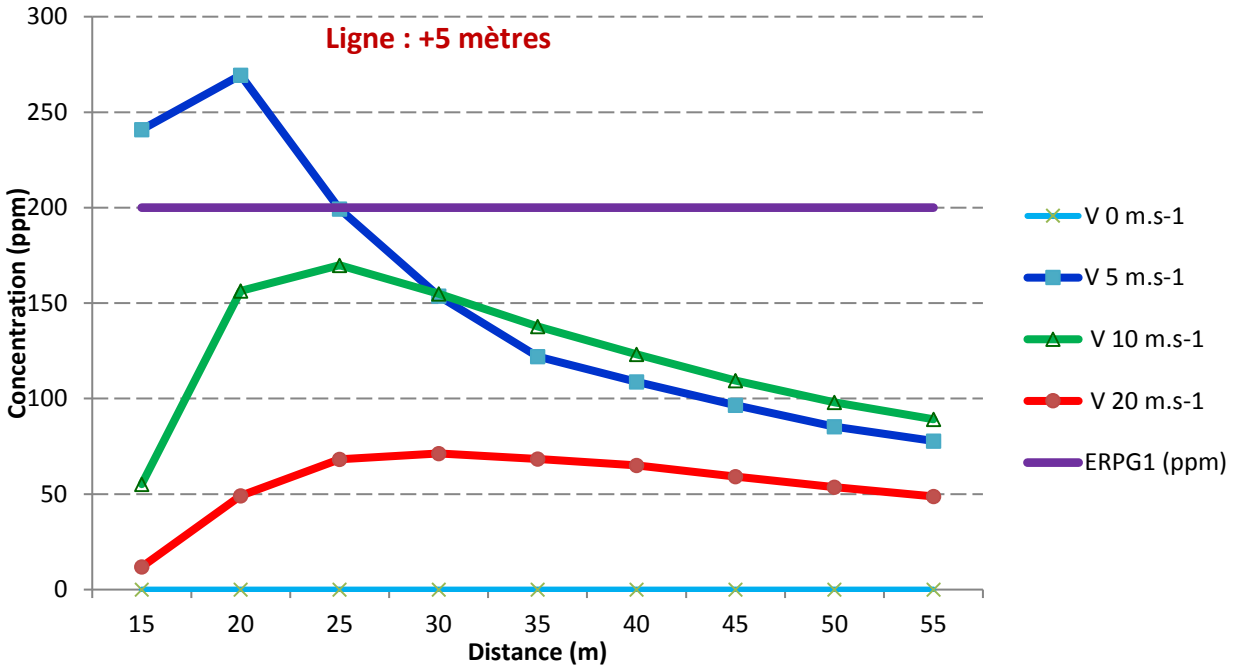
Simulateur - vue de dessus

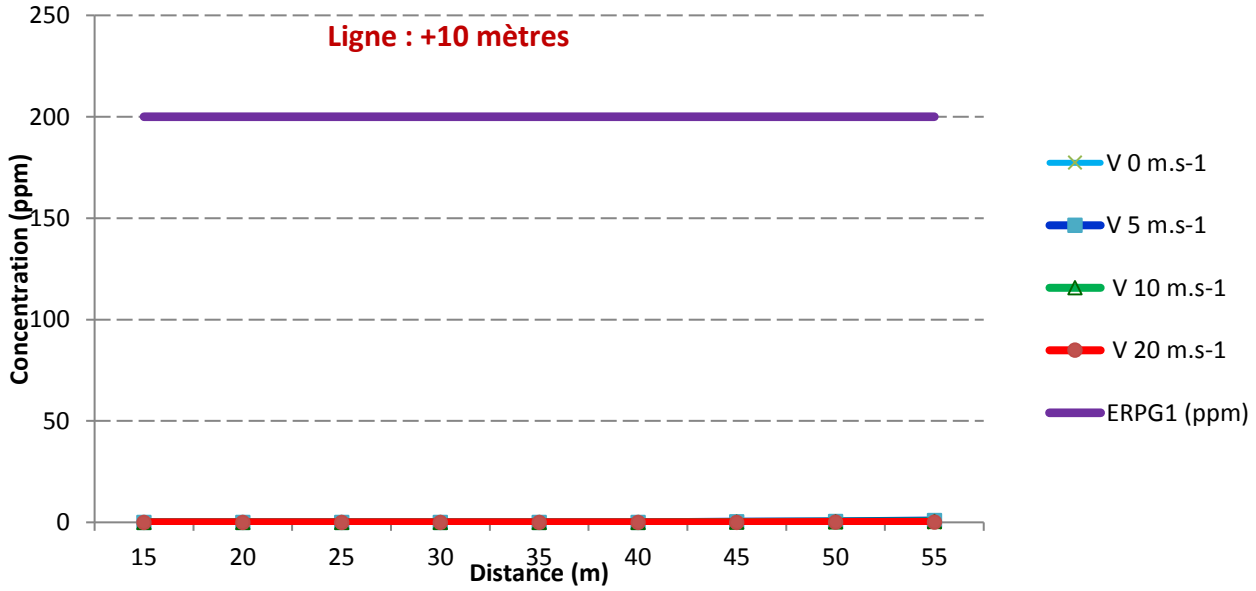




CO - angle alpha 120°



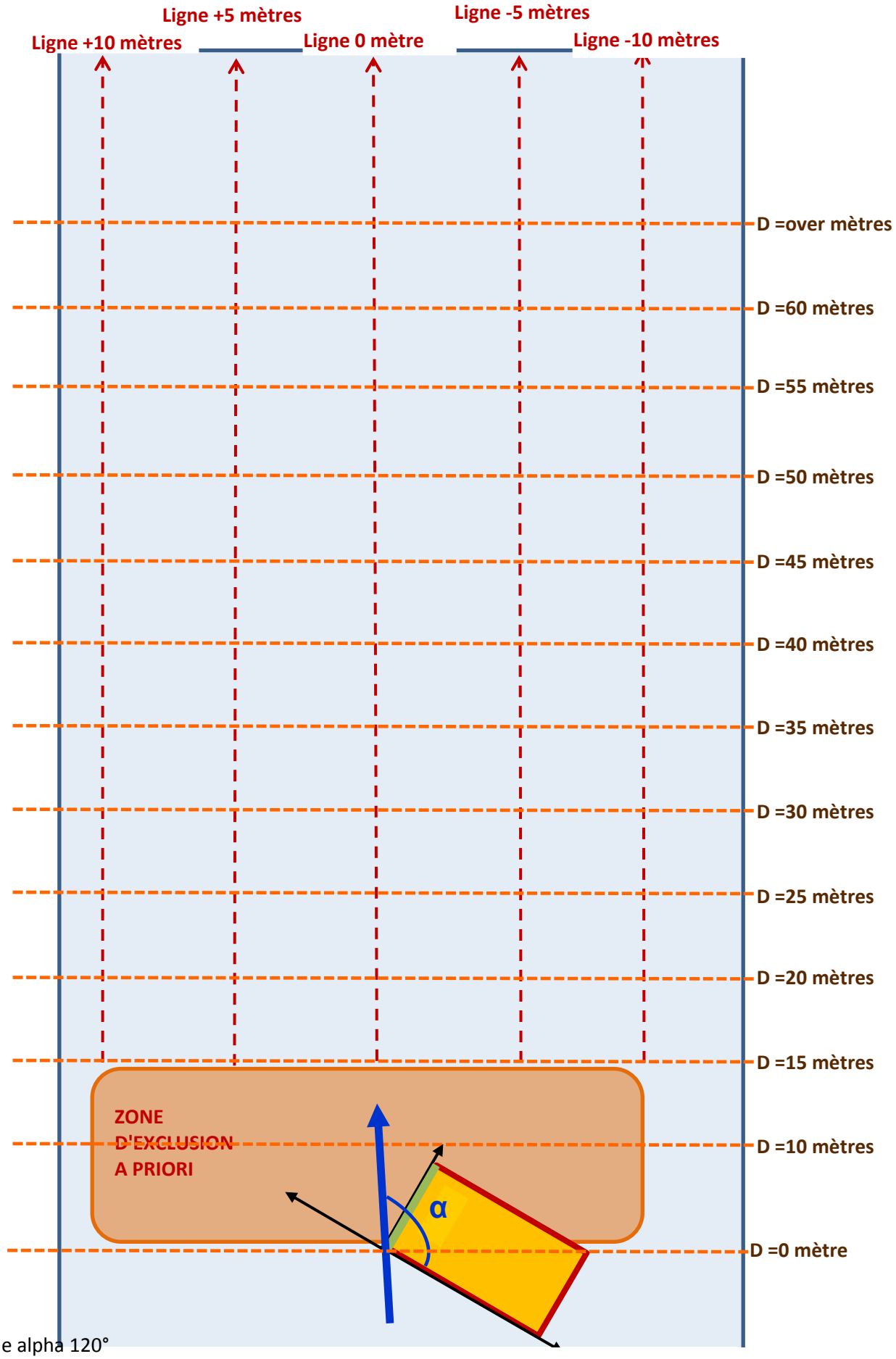




CO - angle alpha 120°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

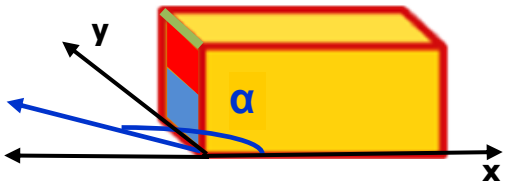
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 120 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



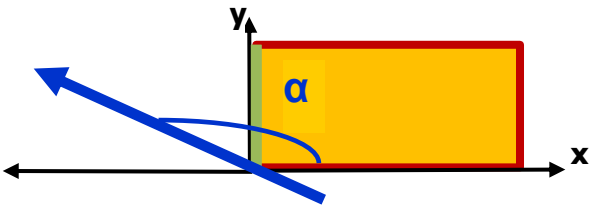
CO - angle alpha 120°

Concentration de CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

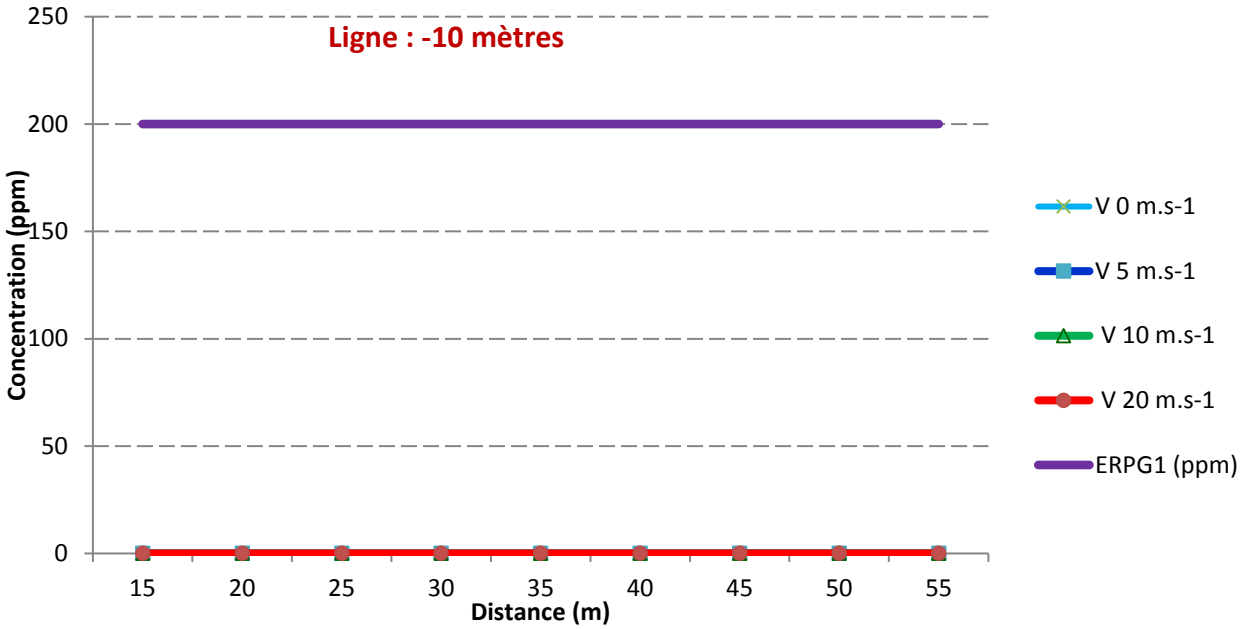
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 150 °

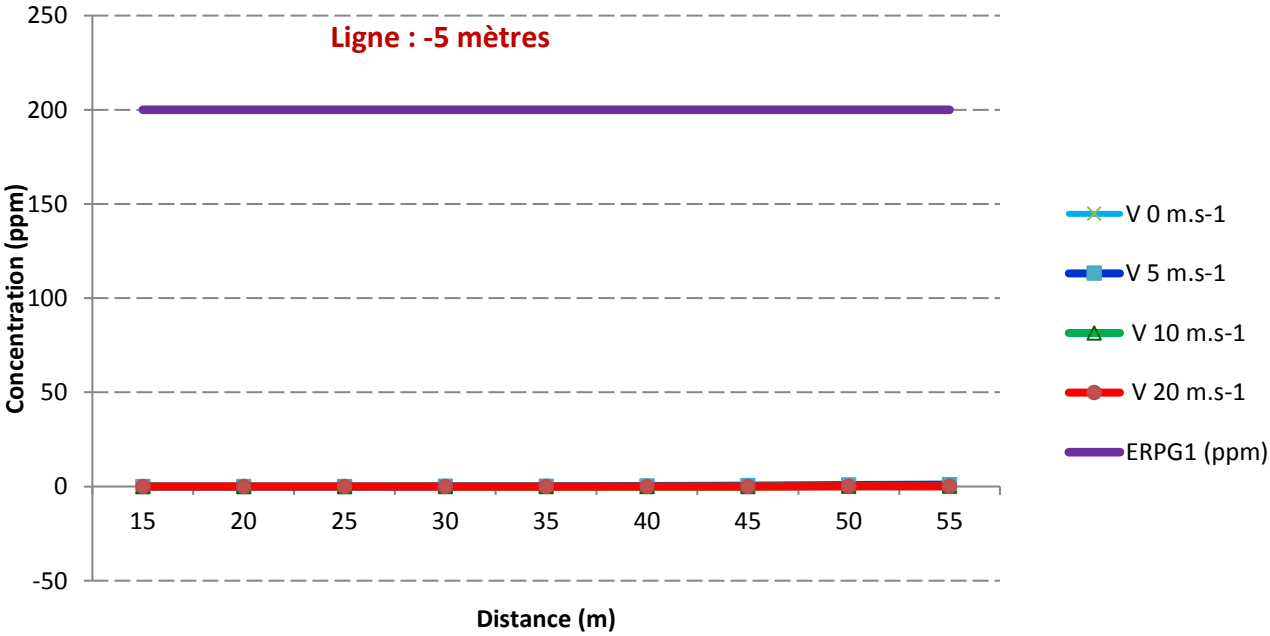


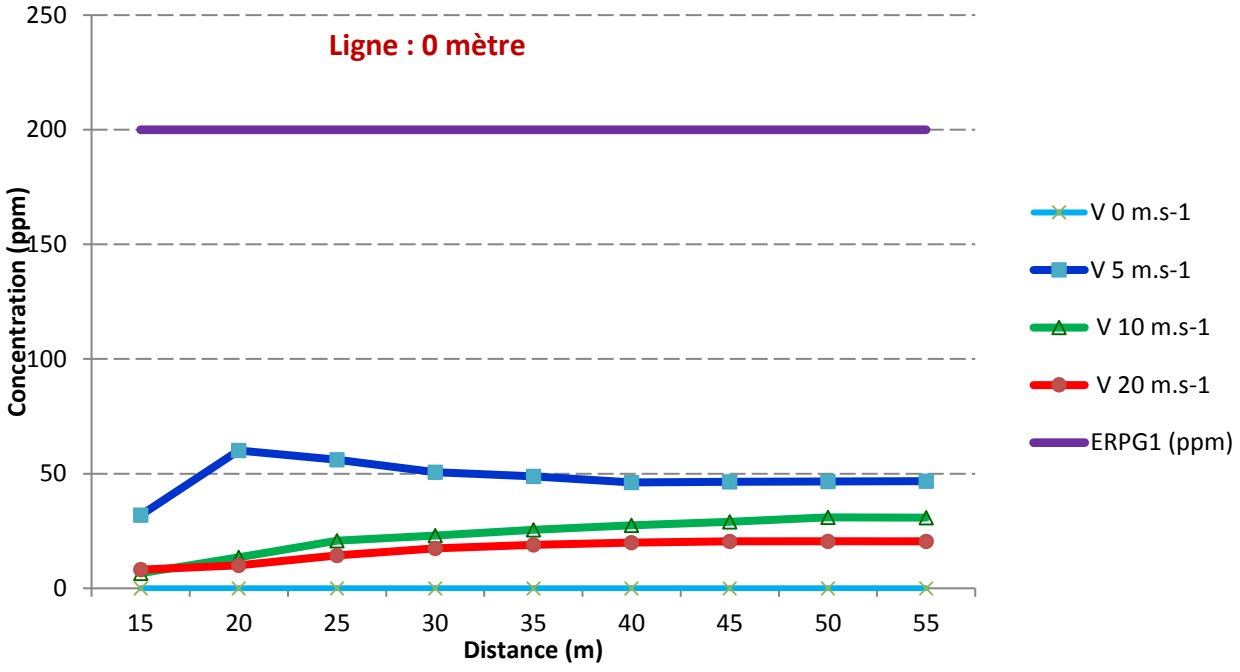
Simulateur- vue de droite

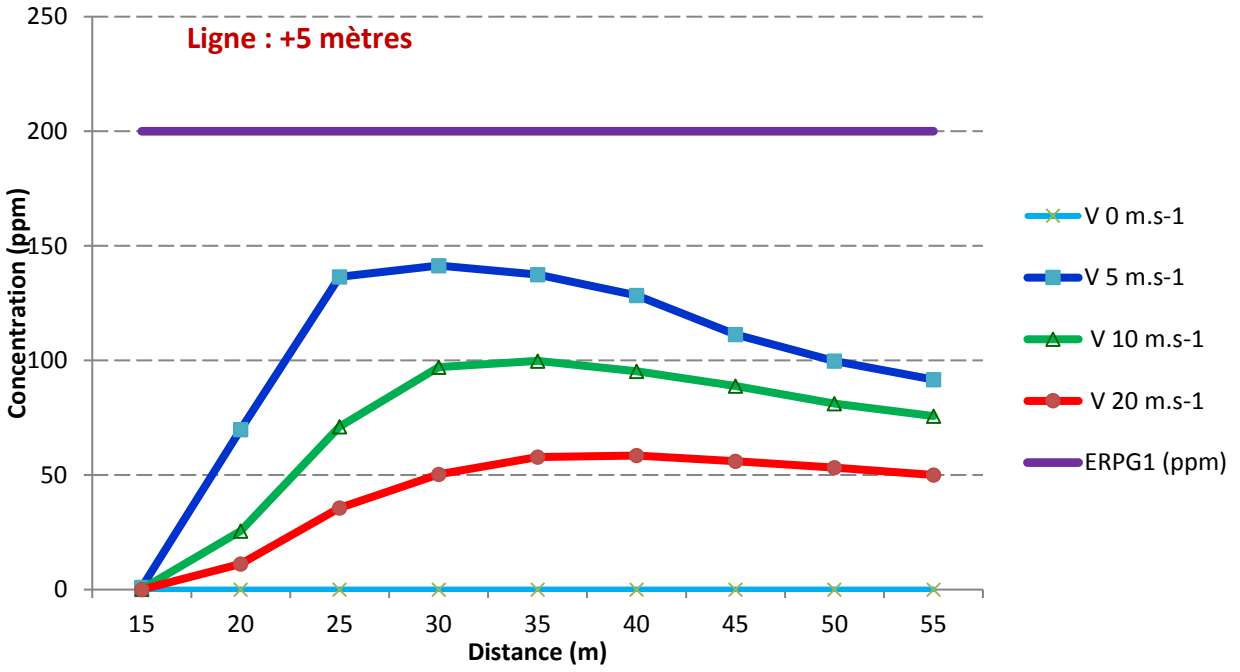


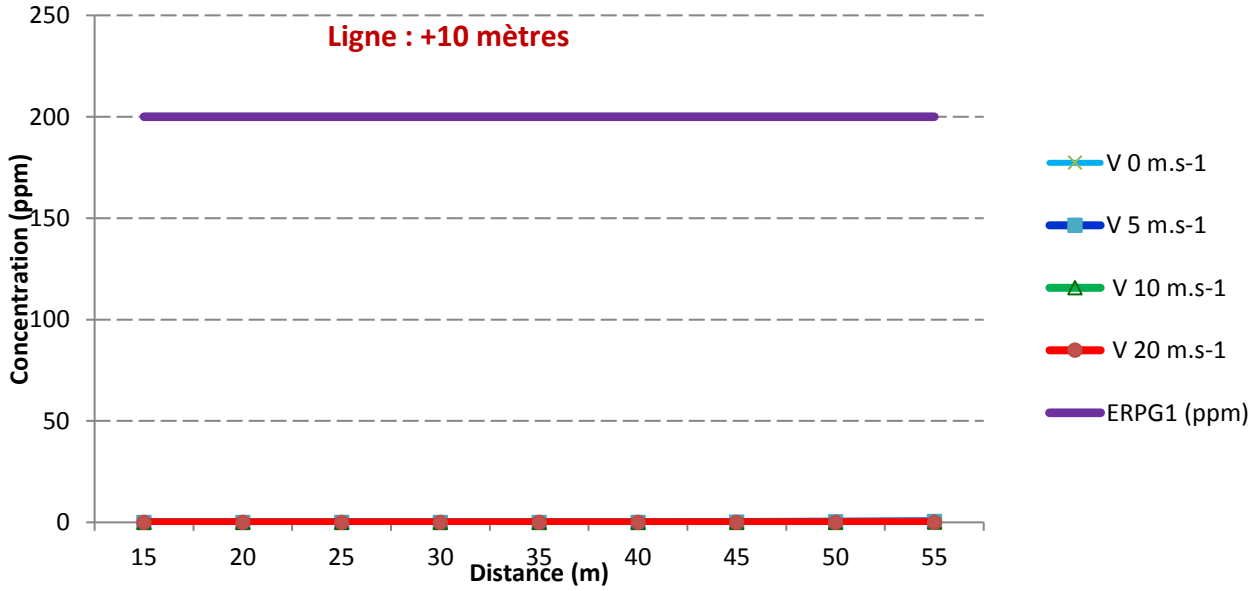
Simulateur - vue de dessus






Ligne : 0 mètre
Concentration (ppm)
250
200
150
100
50
0
15
20
25
30
35
40
45
50
55
Distance (m)
V 0 m.s-1
V 5 m.s-1
V 10 m.s-1
V 20 m.s-1
ERPG1 (ppm)

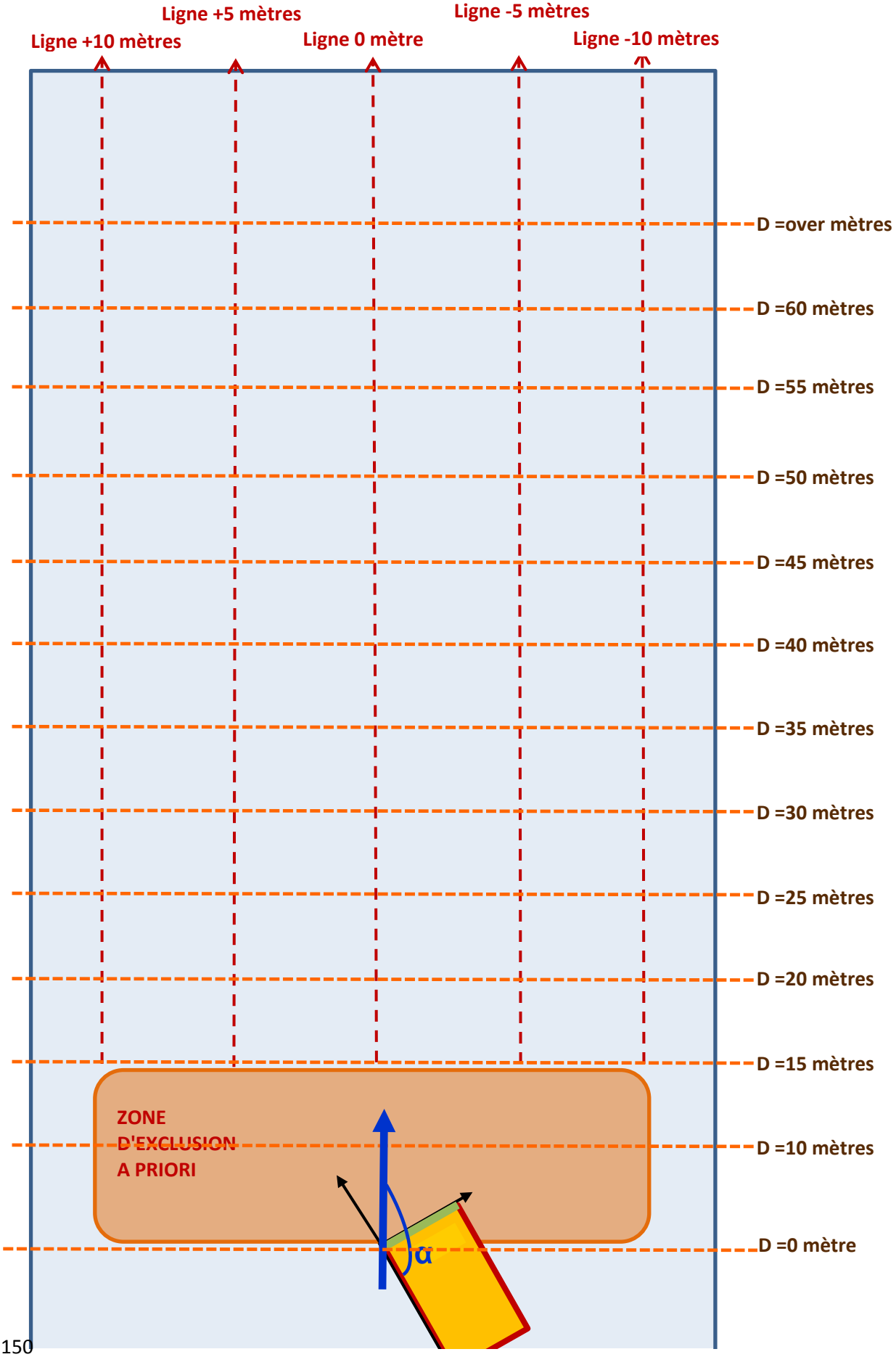

Ligne : +5 mètres
Concentration (ppm)
250
200
150
100
50
0
15
20
25
30
35
40
45
50
55
Distance (m)
V 0 m.s-1
V 5 m.s-1
V 10 m.s-1
V 20 m.s-1
ERPG1 (ppm)


Ligne : +10 mètres
Concentration (ppm)
250
200
150
100
50
0
15
20
25
30
35
40
45
50
55
Distance (m)
V 0 m.s-1
V 5 m.s-1
V 10 m.s-1
V 20 m.s-1
ERPG1 (ppm)

CO alpha150

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

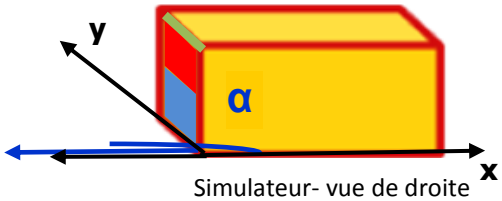
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 150 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



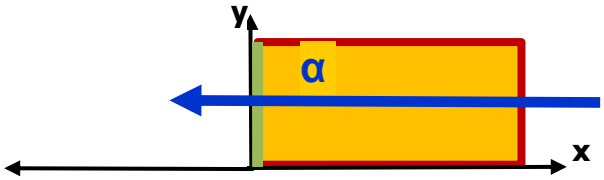
CO alpha150

Concentration du CO émis par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

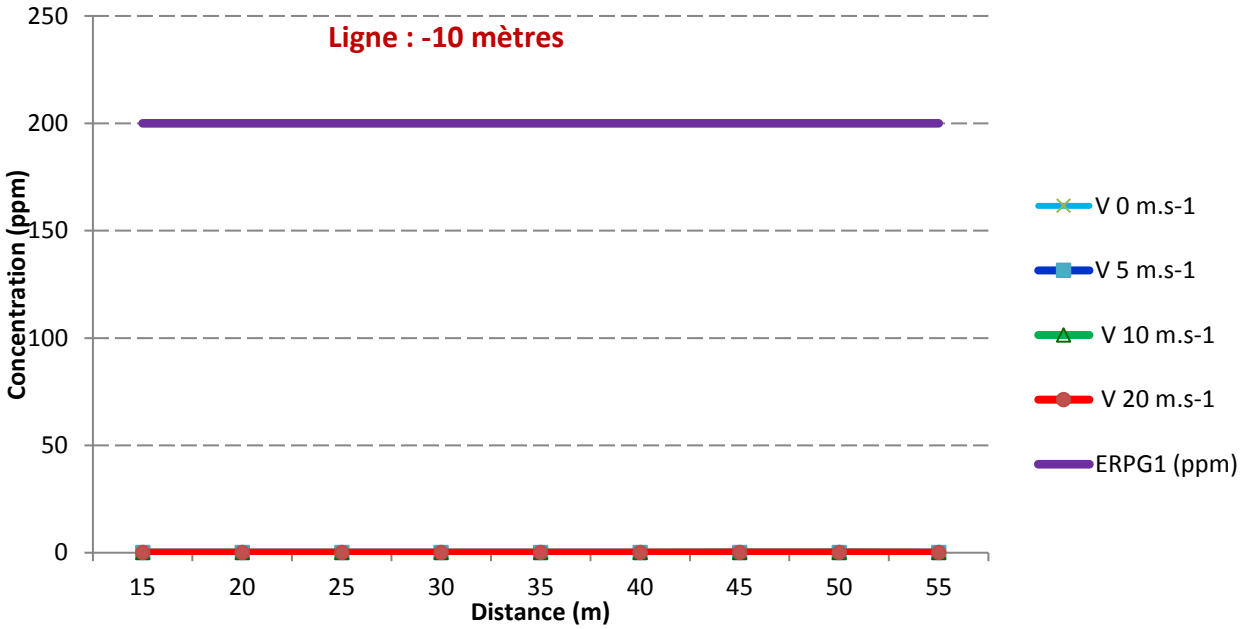
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 180 °

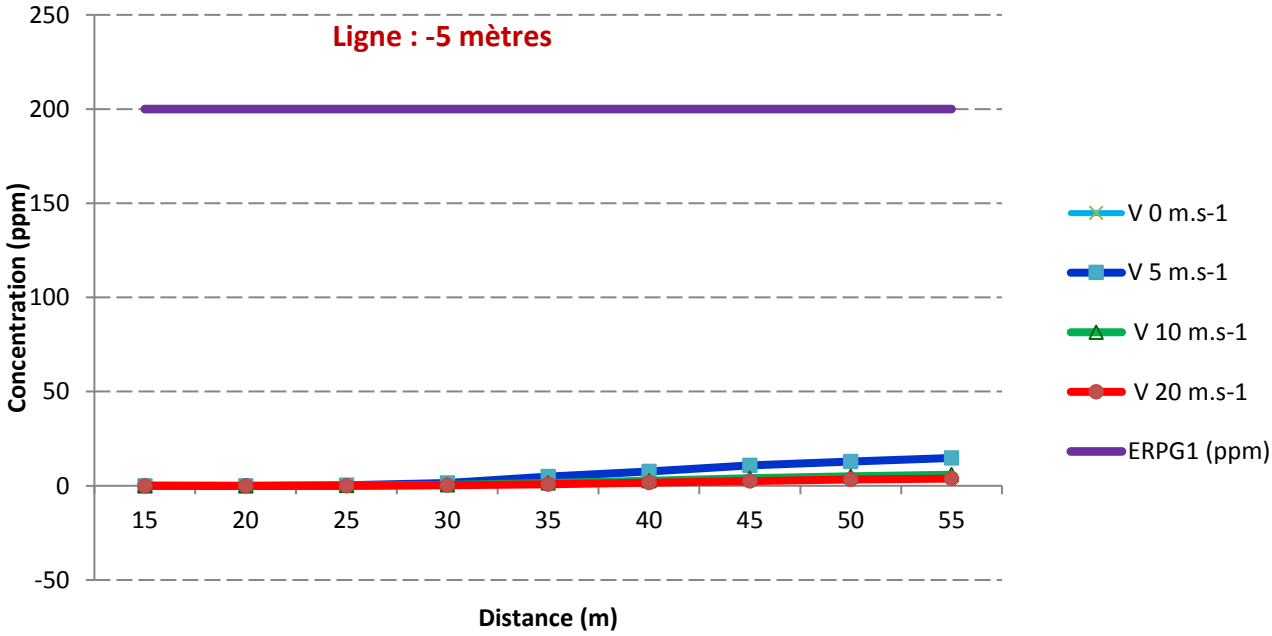


Simulateur- vue de droite

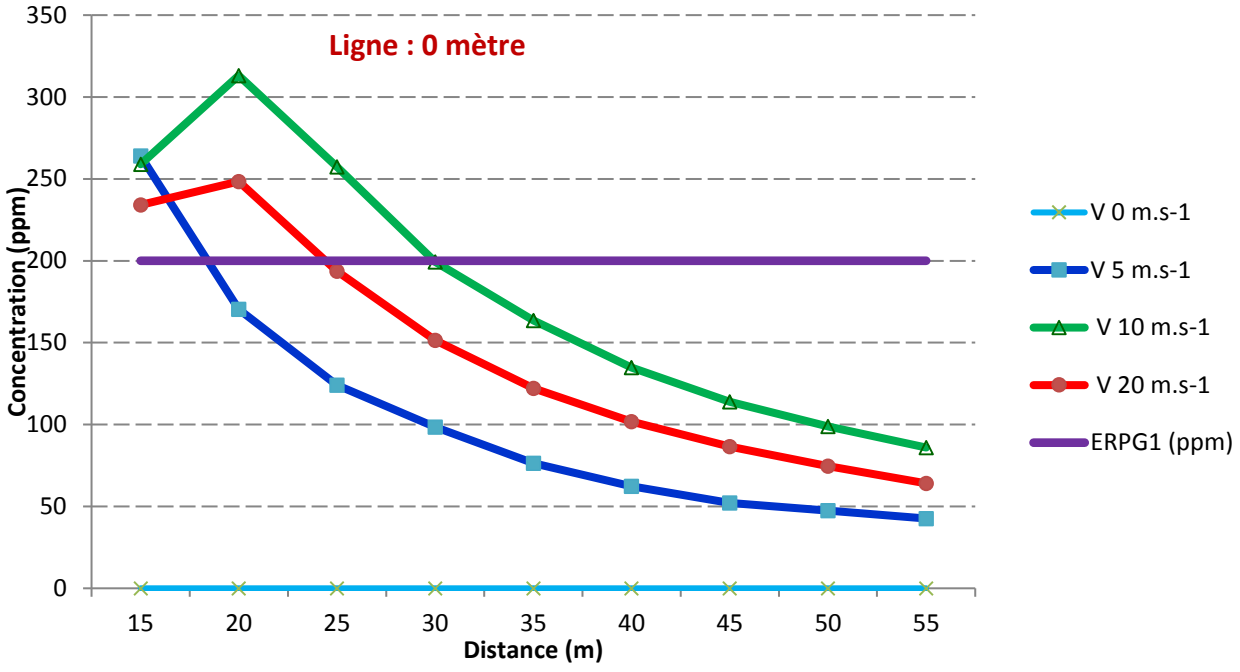


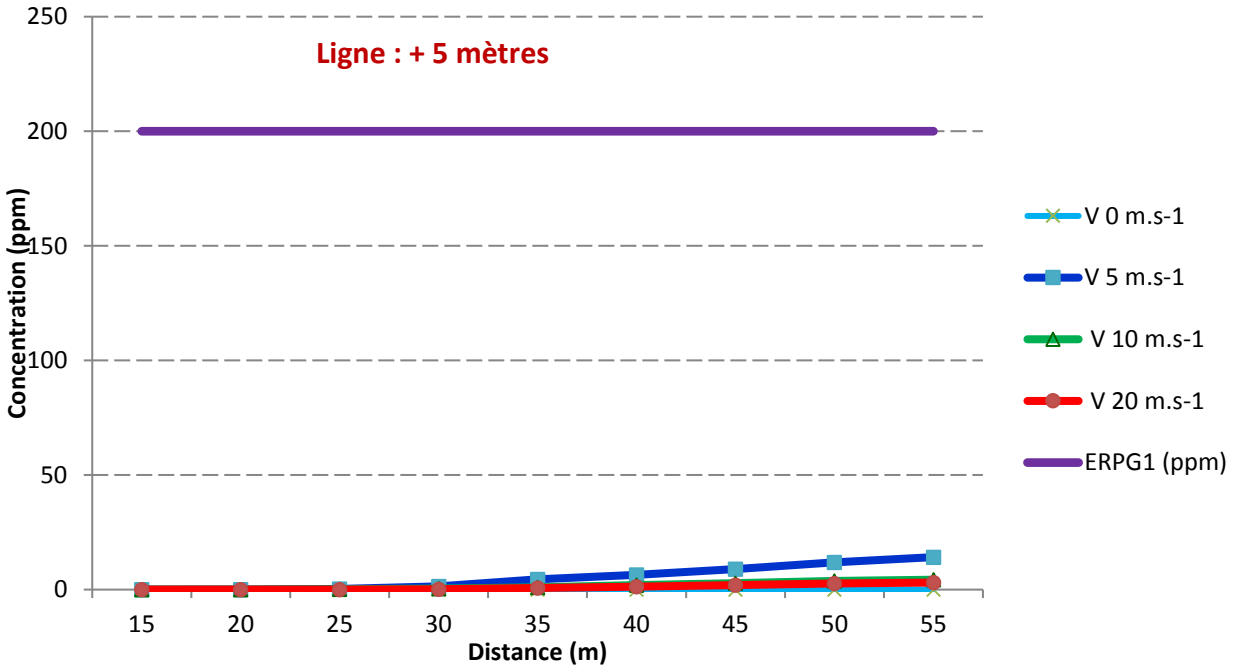
Simulateur - vue de dessus

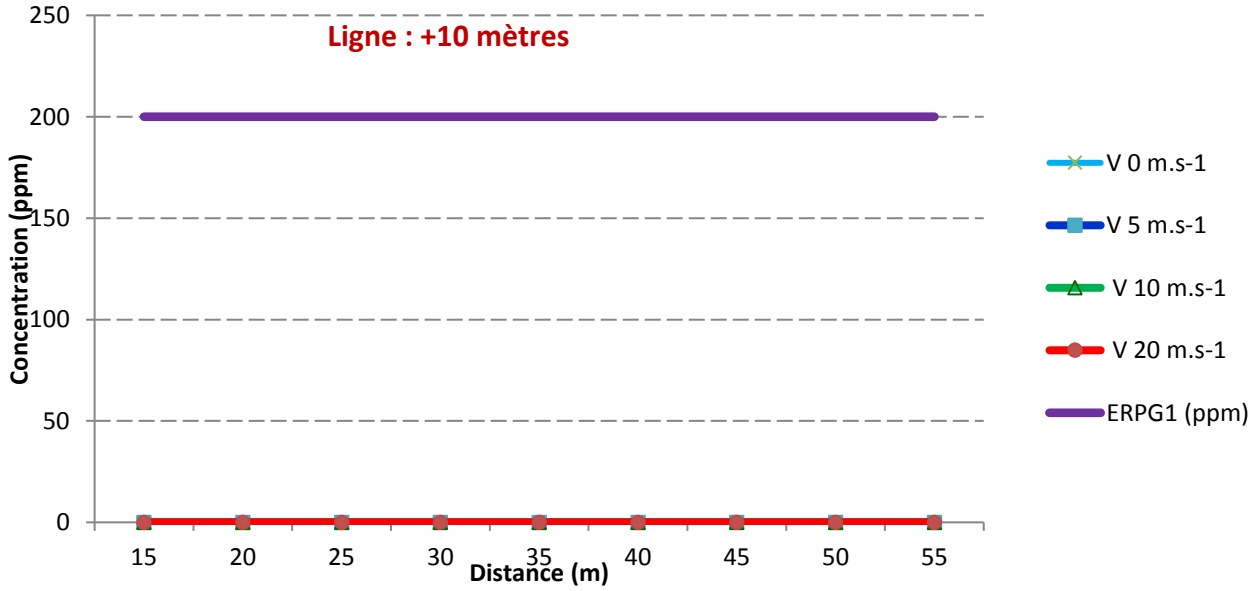




CO - angle alpha 180°



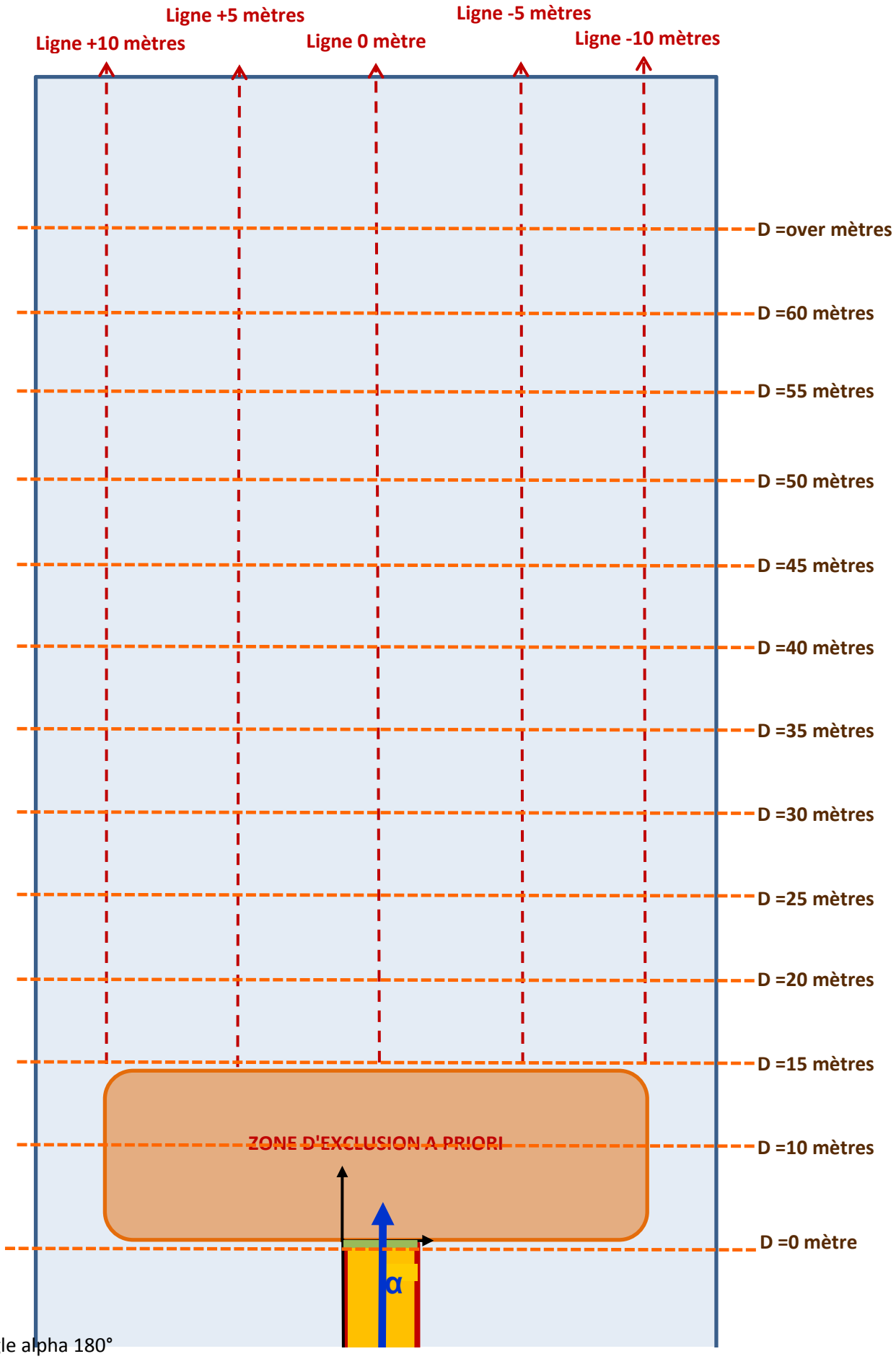




CO - angle alpha 180°

Traçage du zonage toxicologique CO mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 180 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



CO - angle alpha 180°

ANNEXE 5

Outil de zonage toxicologique suies

Zonage toxicologique des suies émisent par le simulateur feu

- Choix de la valeur toxicologique :

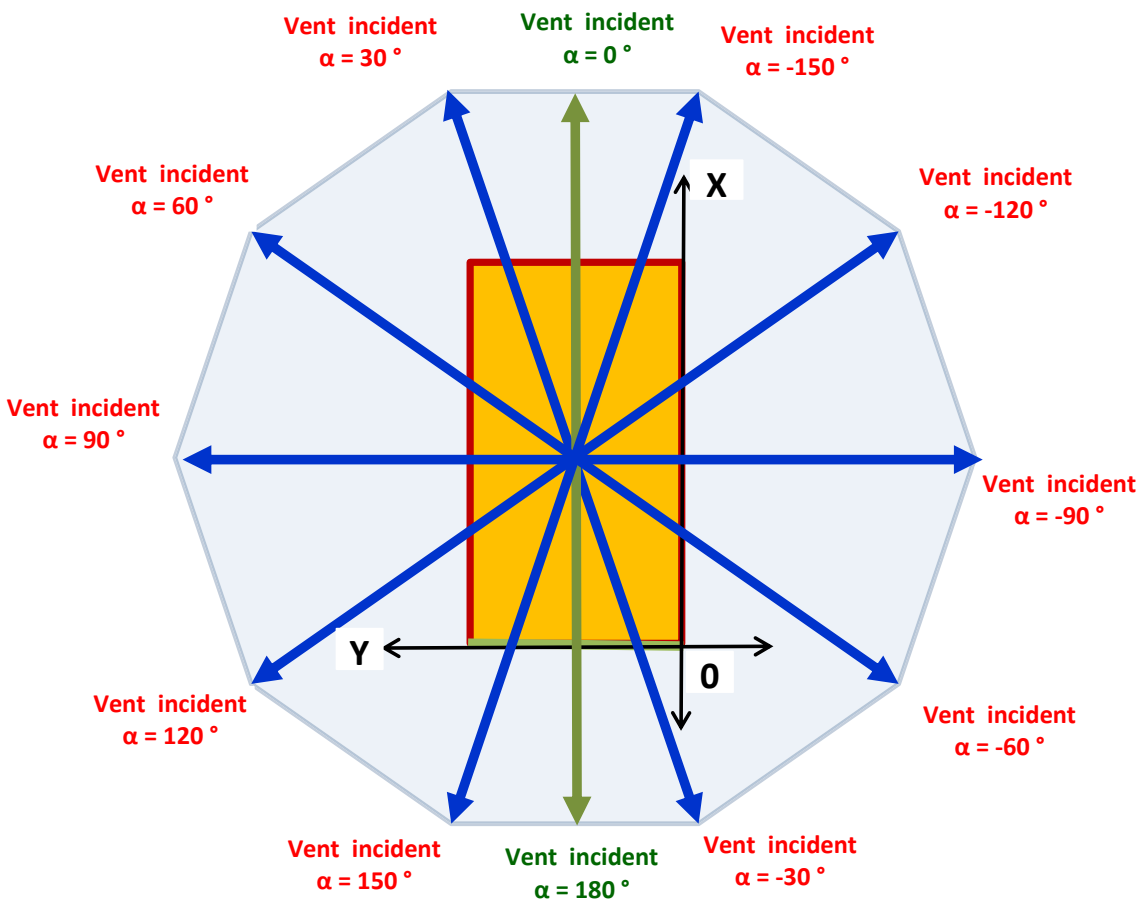
- Durée d'un brûlage : environ 30 minutes donc choix de valeurs toxicologiques à 30 minutes,
- Absence de valeurs toxicologiques pour cette durée. Donc choix de la valeur temporelle la plus proche, sur une exposition aigüe,
- Tout corp composé à plus de 80 % de carbone sous forme de particules agrégées peut être assimilé au noir de carbone,
- Les suies étant composées à plus de 90% de carbone, celles-ci peuvent être assimilées au noir de carbone,
- Absence de Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises , d'AEGL et d'ERPG pour le noir de carbone,
- Existence de TEEL 60 minutes en mg/m3,
- Valeur retenue de la TEEL 1 - 60 minutes pour les suies à 10, 5 mg/m3,
- La modélisation avec le logiciel FDS permet d'obtenir des valeurs toxicologiques en ppm,
- Dans le code de modélisation FDS, la formule chimique de la suie est C(0,9)H(0,1) soit M=10,9* g/mol. La suie est donc assimilée à un gaz. La conversion des mg/m3 en ppm est donc possible. Le volume molaire de l'air à 25°C est donné à 24,45 l/mol,
- Ceci donnant donc dans ces conditions précises une TEEL 1 - 60 minutes par équivalence de 23,6 ppm pour les suies.

- Conditions de la simulation réalisée avec Fire Dynamic Simulator :

- Température : 25 °C,
- Hygrométrie : 40 %,
- Hauteur de la mesure toxicologique : 1,80 mètre.

- Utilisation de l'outil de zonage toxicologique :

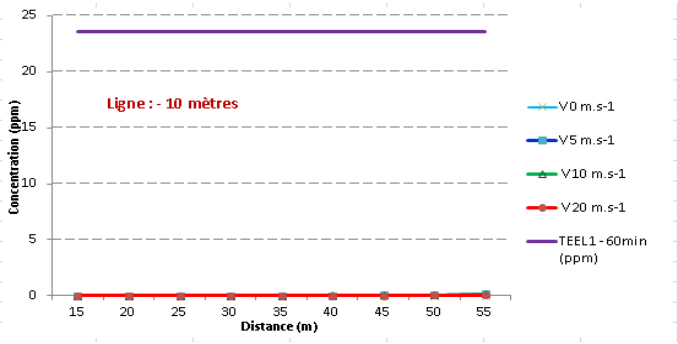
1. Sélectionner l'onglet avec l'angle incident du vent par rapport à l'entrée du simulateur feu (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). Se reporter à la rosace des vents :



2. Déterminer la vitesse du vent (0, 5, 10 15, 20 m.s-1),
3. Pour chaque ligne de calcul verticale (-10 mètres, -5 m, 0 m; +5m, +10m), déterminer sur le graphique correspondant la distance pour laquelle le seuil toxicologique sera atteint,
4. Reporter chacune de ces valeurs sur les 5 lignes de la cartographie toxicologique,
5. Tracer la plume correspondante en reliant les points,
6. Réaliser ce travail pour les NOx, le SO2, CO, les suies,
7. En déduire un zonage toxicologique général d'exclusion par compilation des 4 données du point n°6.
8. En phase d'utilisation, les concentrations des toxiques HCN (AEGL1-30 min : 2,5 ppm) et HCl (AEGL1-30 min : 1,8 ppm) devront être prises en compte. Pour cela, des relevés de concentration, dans la zone d'exclusion définie ci-dessus, seront réalisés afin de s'assurer que ces derniers soient inférieurs aux seuils toxicologiques de références.

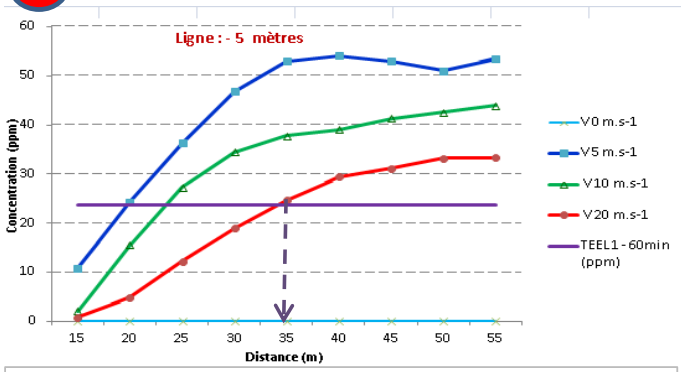
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

1



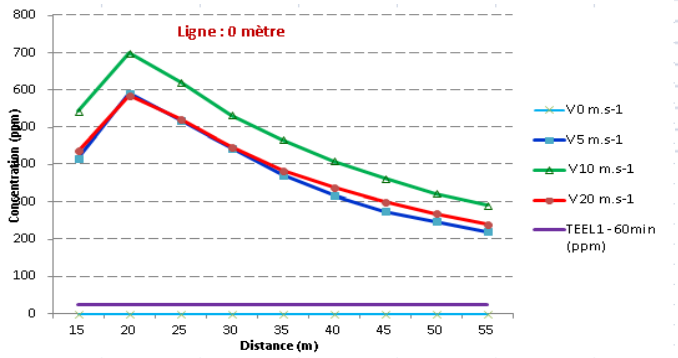
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne -10 m à la distance de 15 m.

2

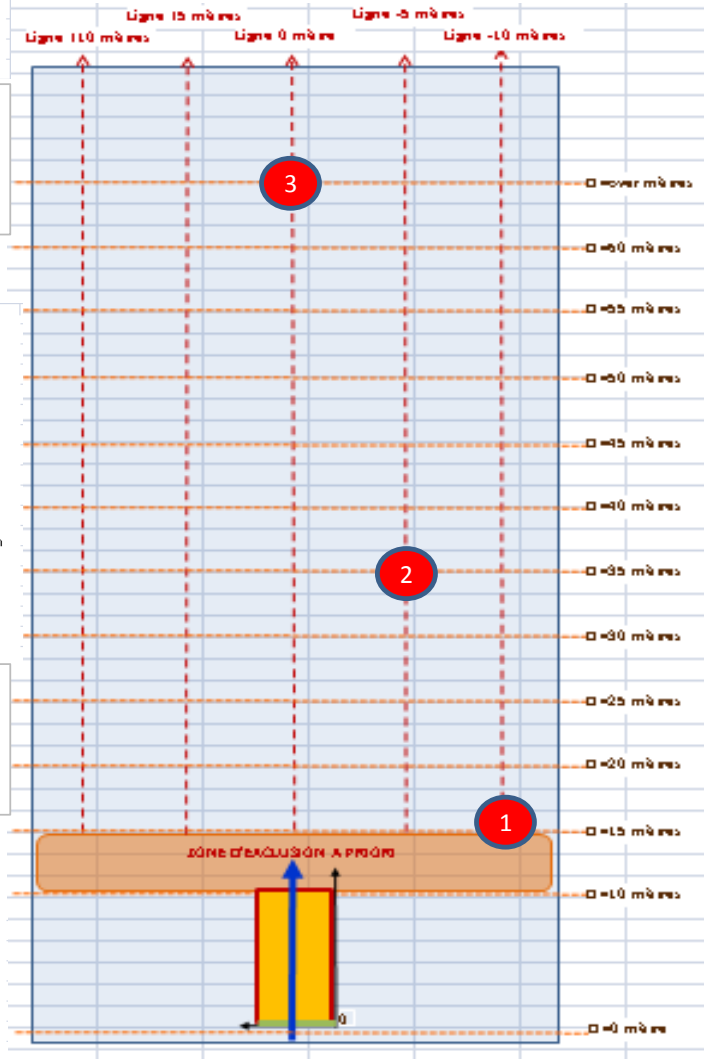


La concentration en toxiquesest atteinte pour la distance de 35 m.
Positionnement du point sur la ligne -5 m à la distance de 35 m.

3

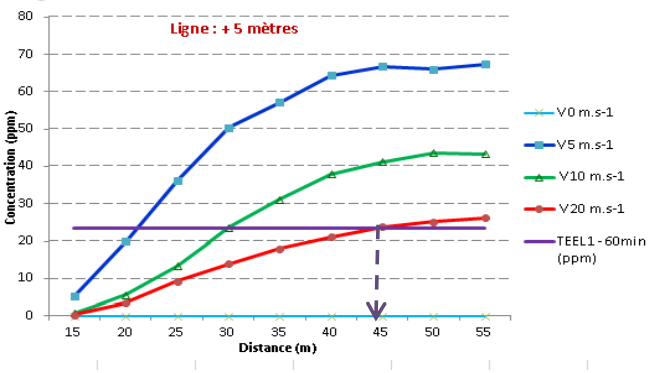


La concentration en toxique est dépassée de 15 m à 55 m.
Positionnement du point sur la ligne 0 m au delà de 55 m.



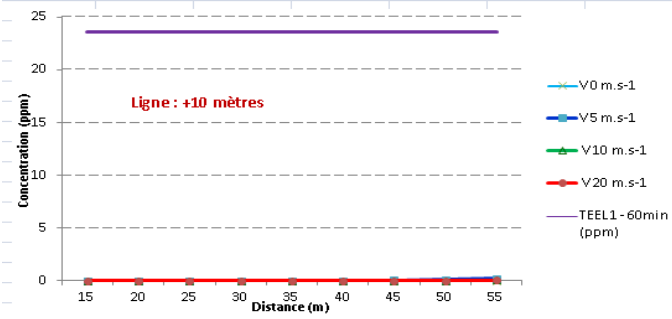
Exemple d'utilisation de l'outil pour un toxique avec un vent de 20 m/s ayant une incidence de O° sur le simulateur

4

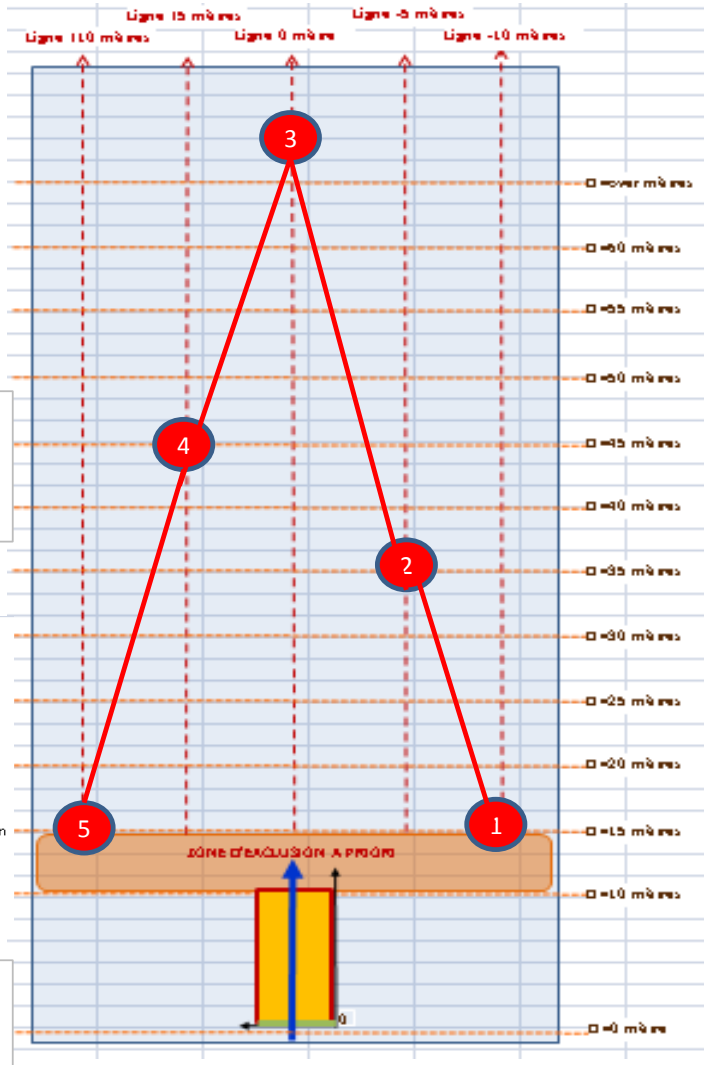


La concentration en toxiques est atteinte pour la distance de 45 m.
Positionnement du point sur la ligne +5 m à la distance de 45 m.

5



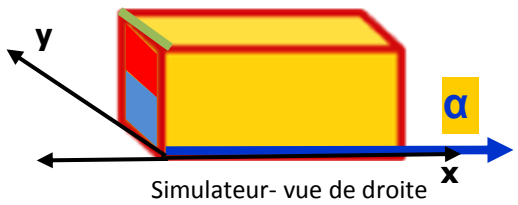
La concentration en toxique n'atteint pas la valeur toxicologique quelque soit la distance.
Positionnement du point sur la ligne +10 m à la distance de 15 m.



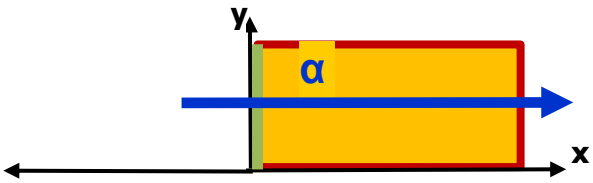
Finaliser l'outil pour le toxique considéré en reliant chaque point pour matérialiser la zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle aucune personne ne devra se trouver.
Les zones d'exclusion des 4 toxiques (NOx, SO2, CO et suies) devront être comparées afin de retenir la zone toxicologique majorante.

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

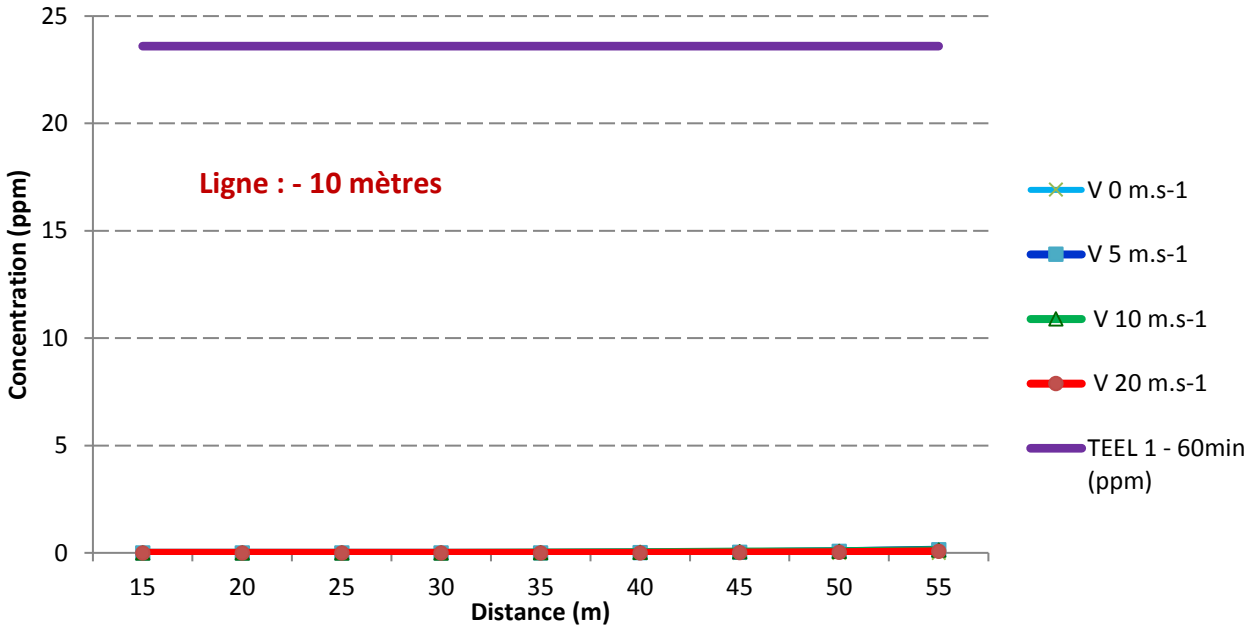
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 0 °

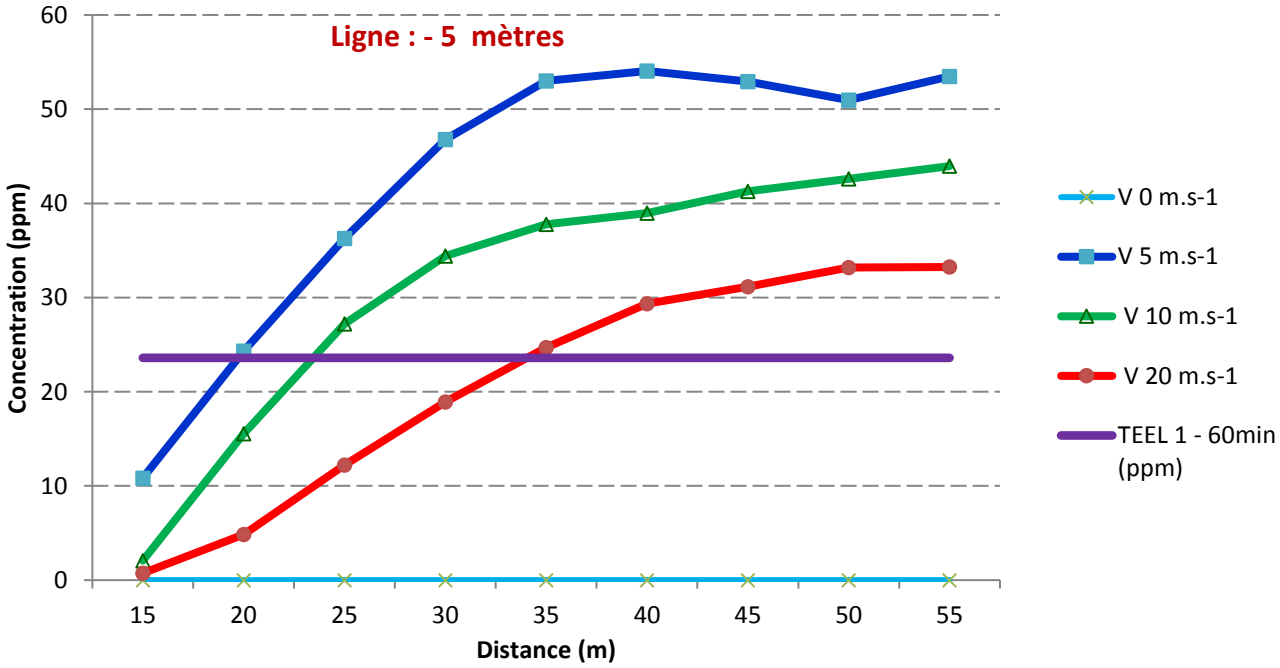


Simulateur- vue de droite

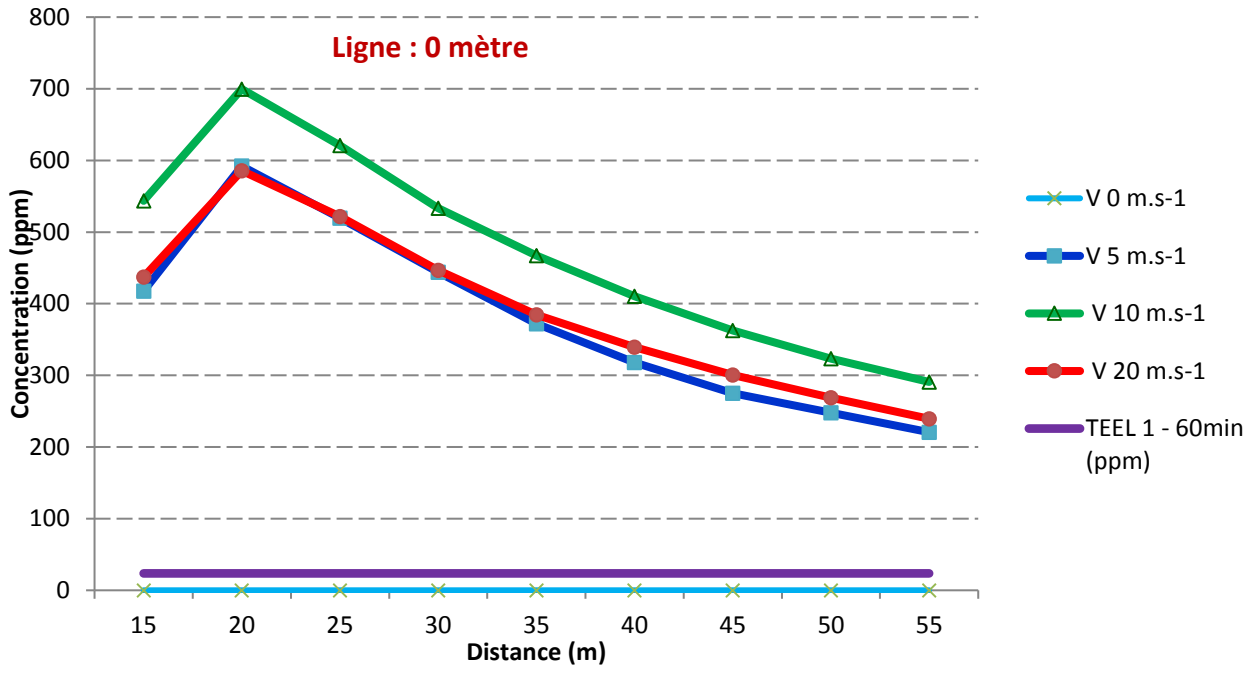


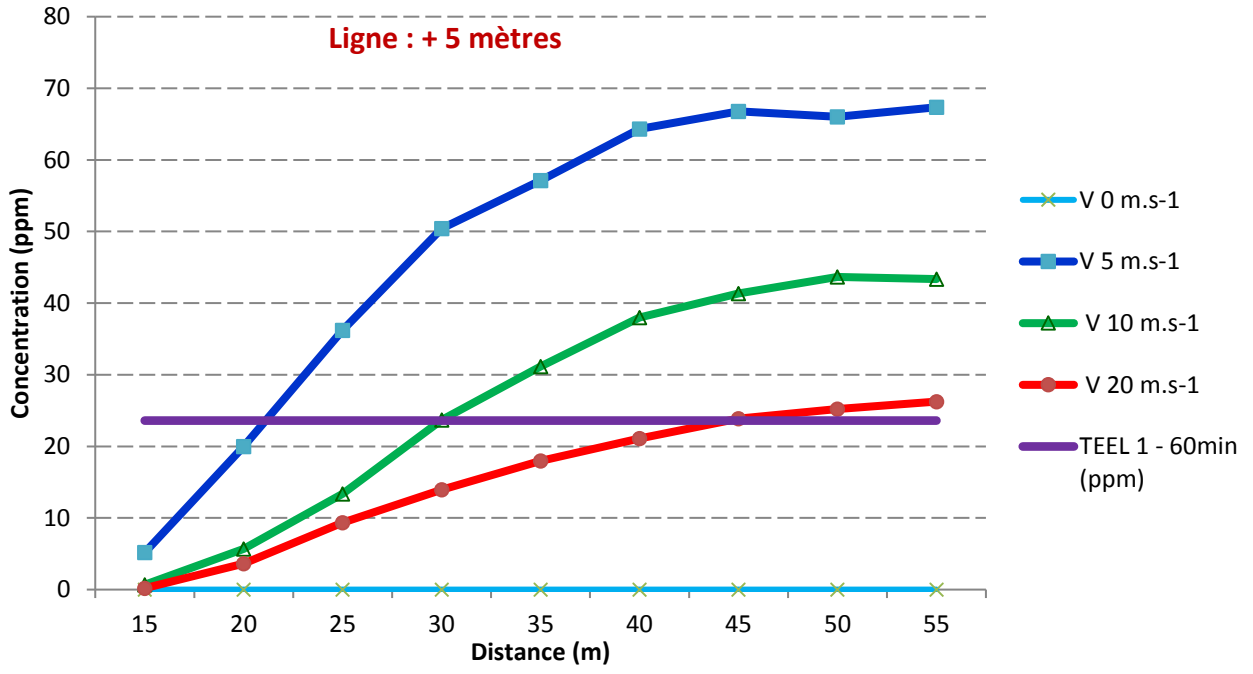
Simulateur - vue de dessus

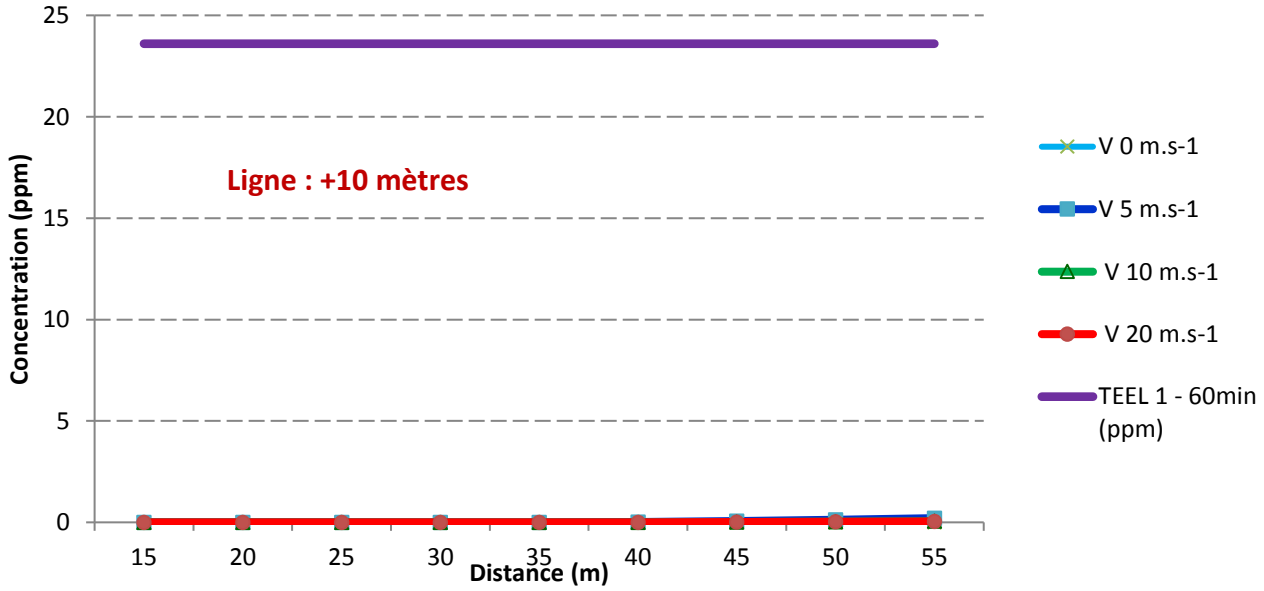




Suies - angle alpha 0°



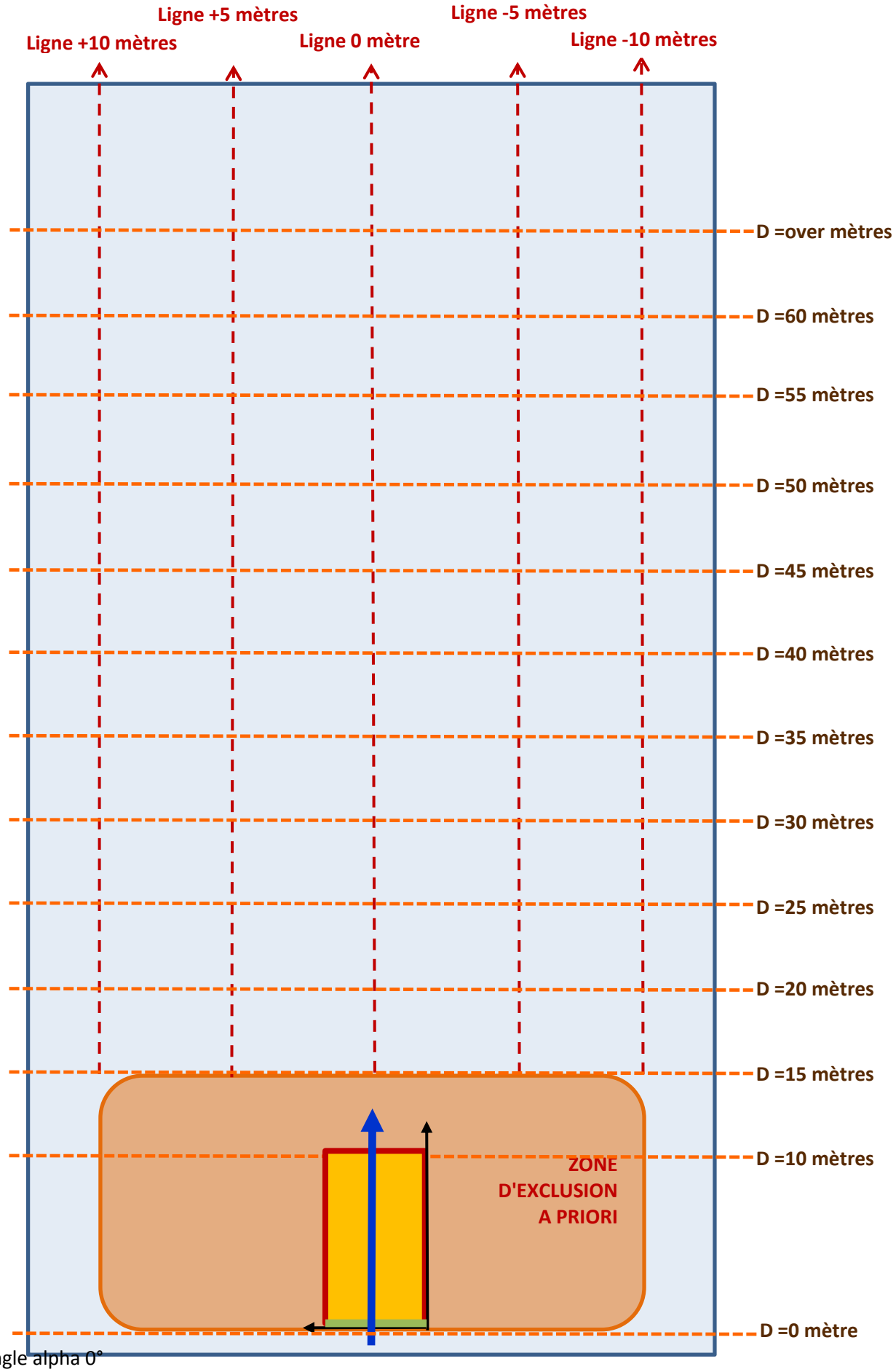




Suies - angle alpha 0°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

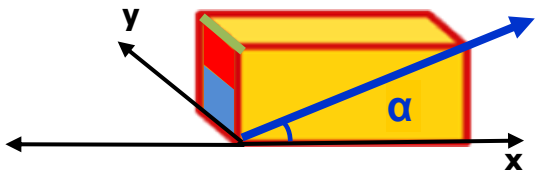
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 0 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



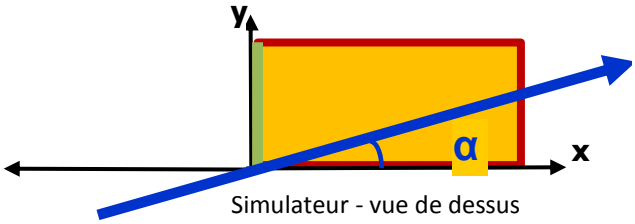
Suies - angle alpha 0°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

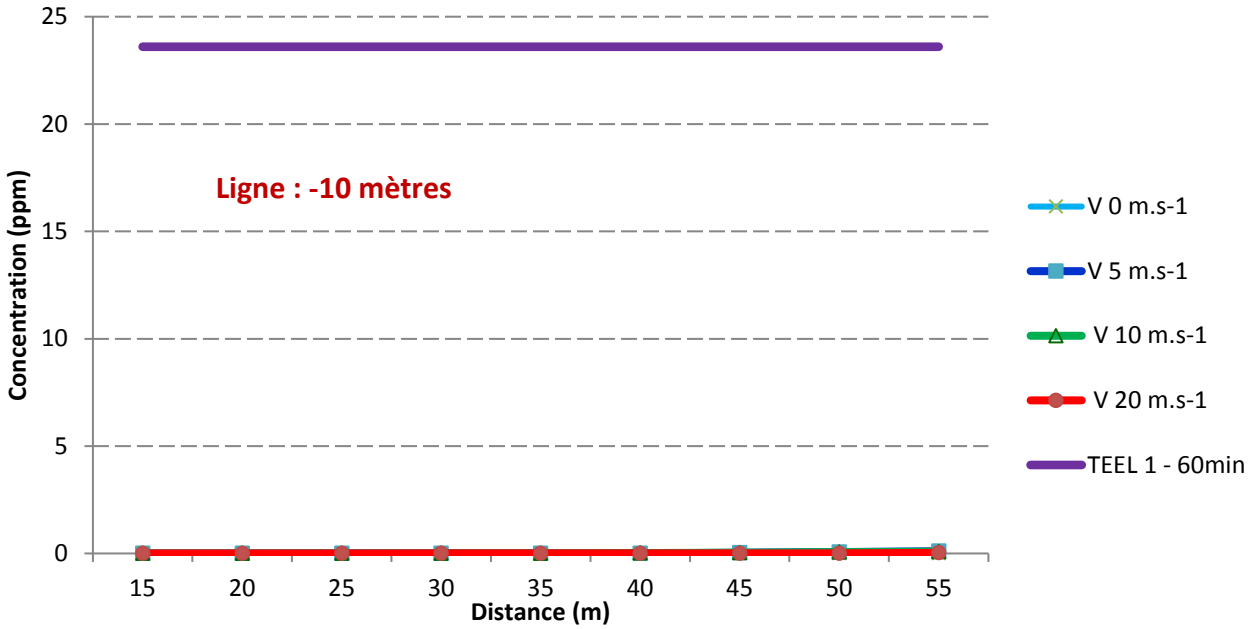
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 30 °

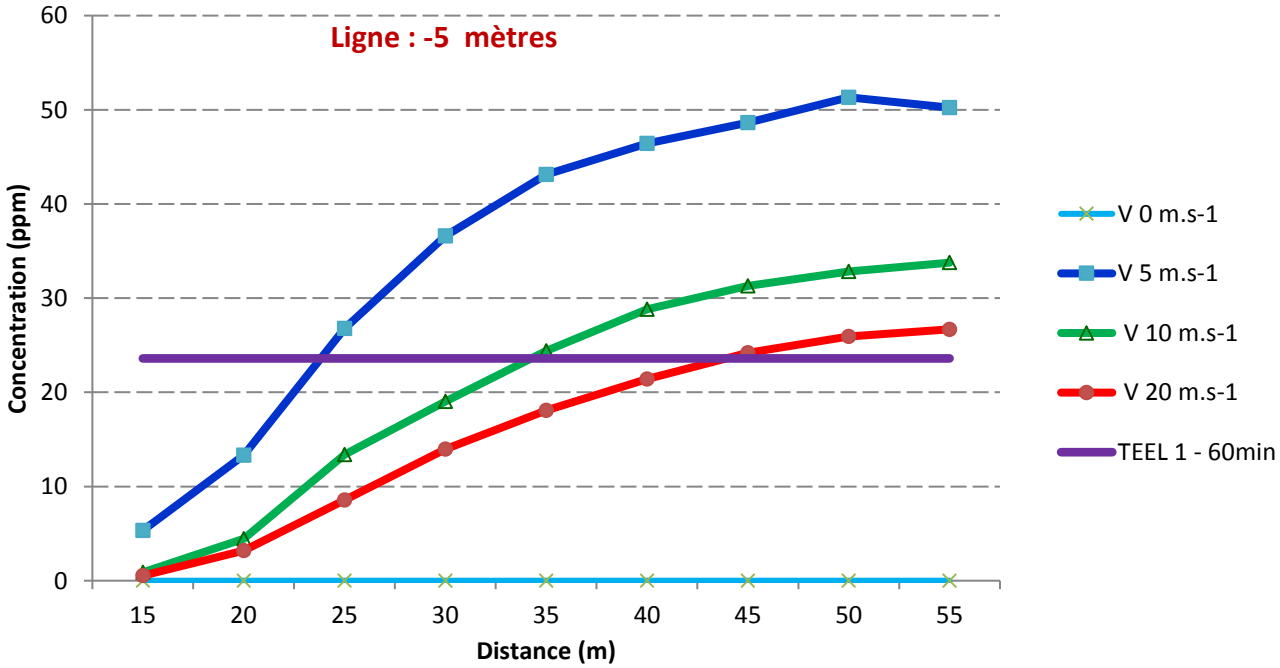


Simulateur- vue de droite

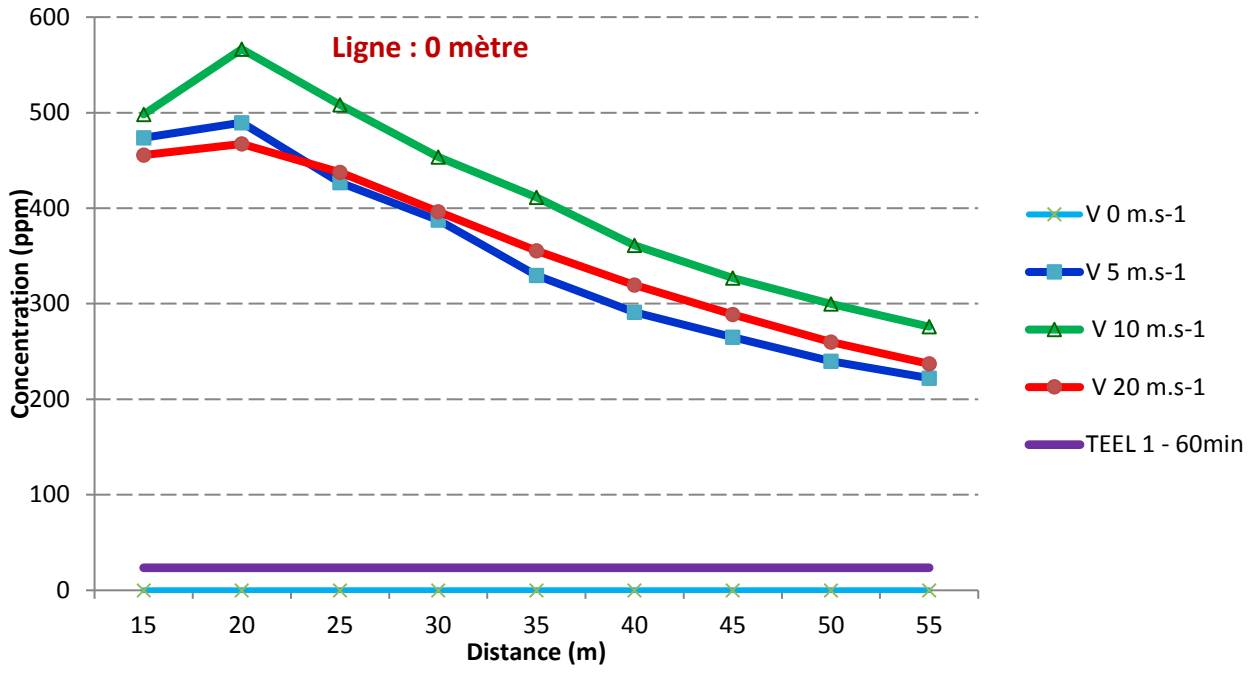


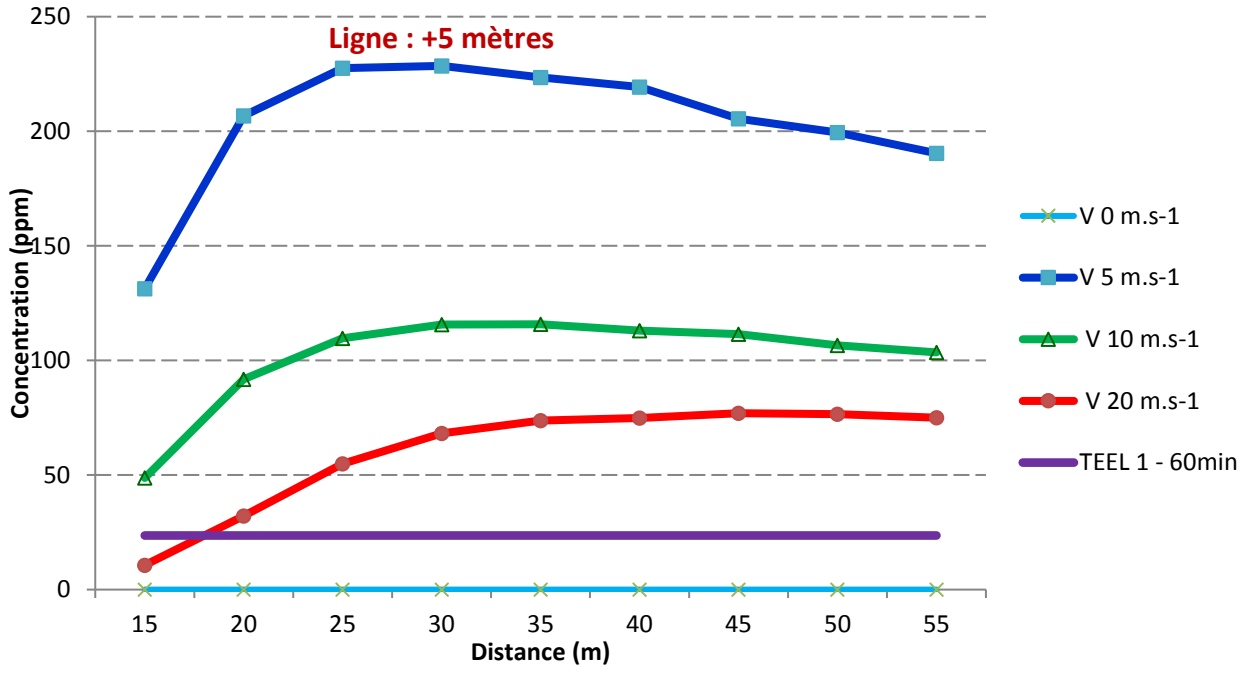
Simulateur - vue de dessus

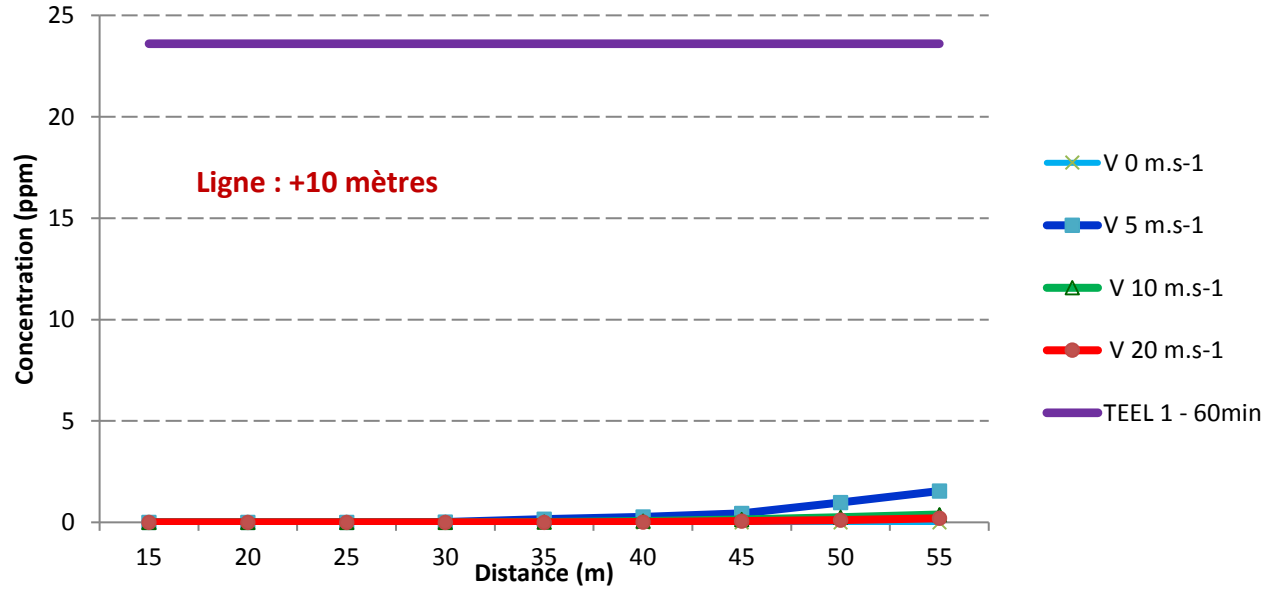




Suies - angle alpha 30°



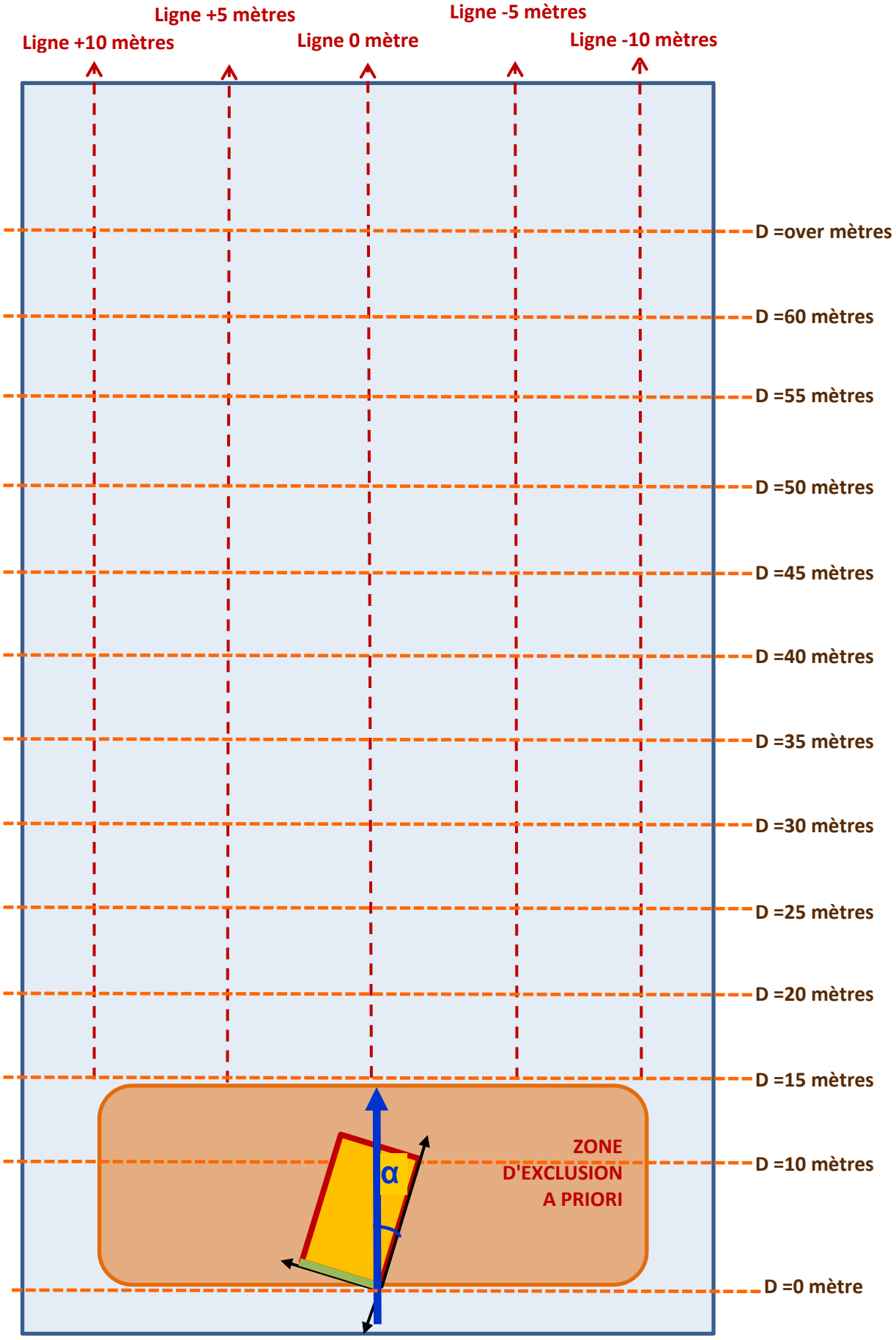




Suies - angle alpha 30°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

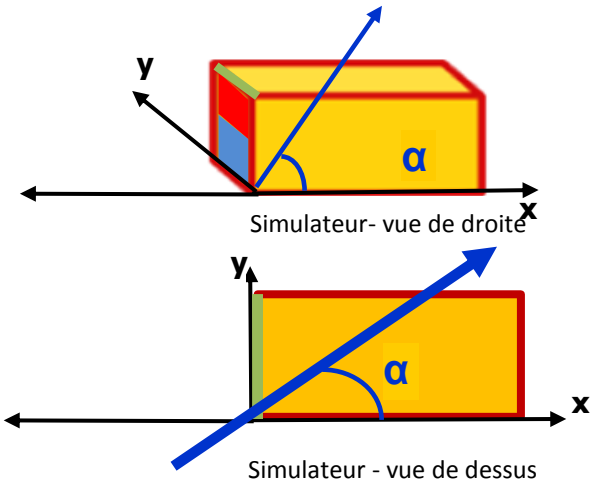
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 30 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

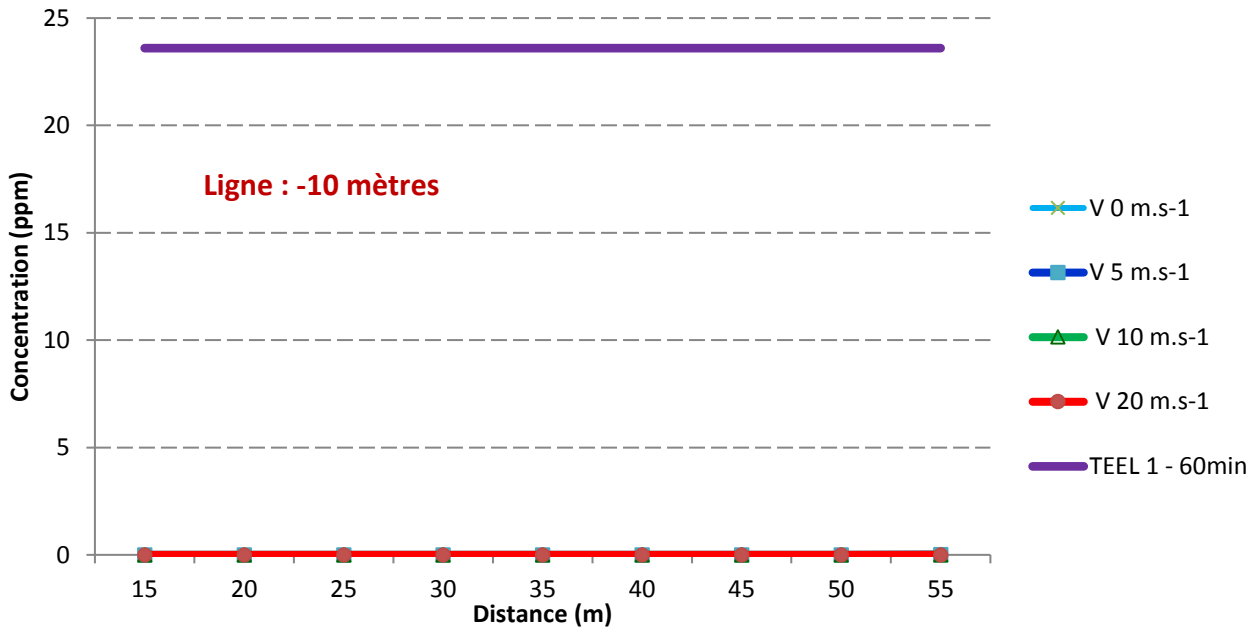


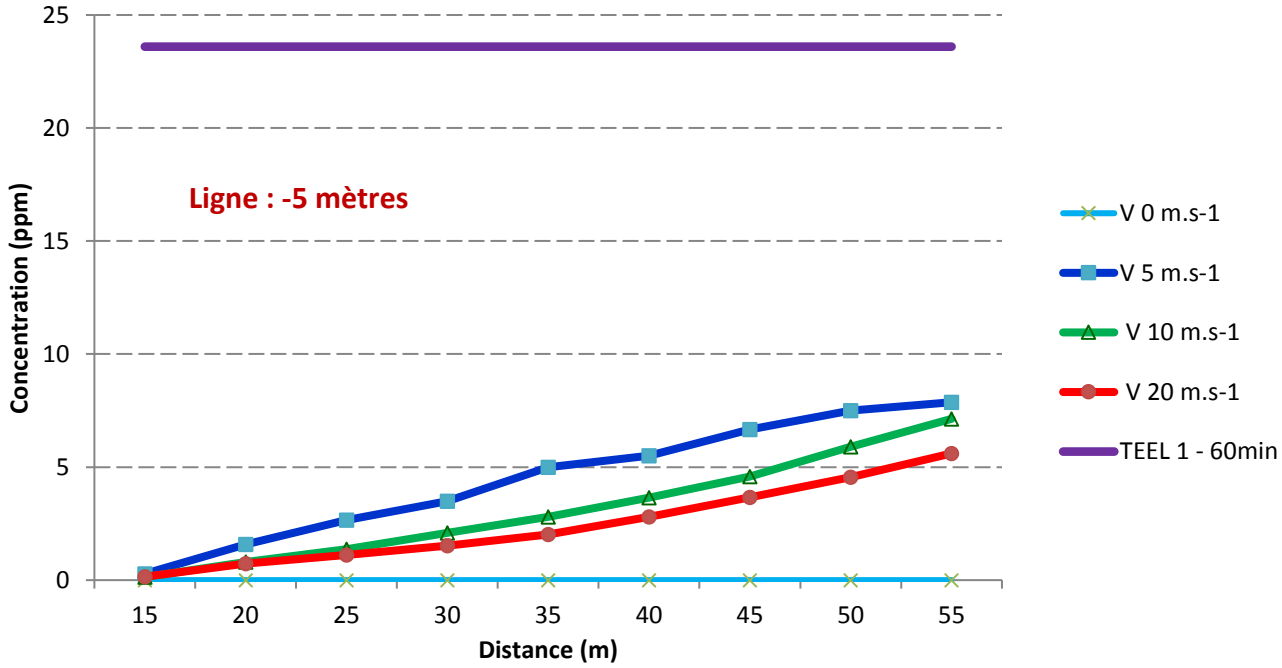
Suies - angle alpha 30°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

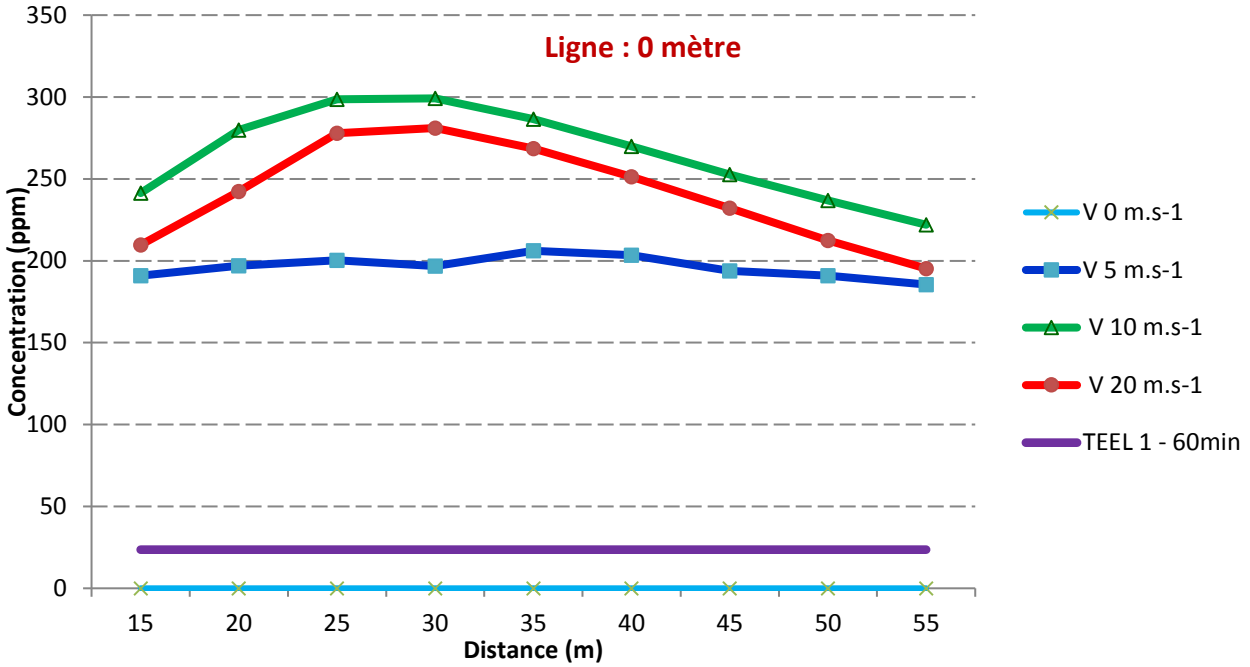
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 60 °

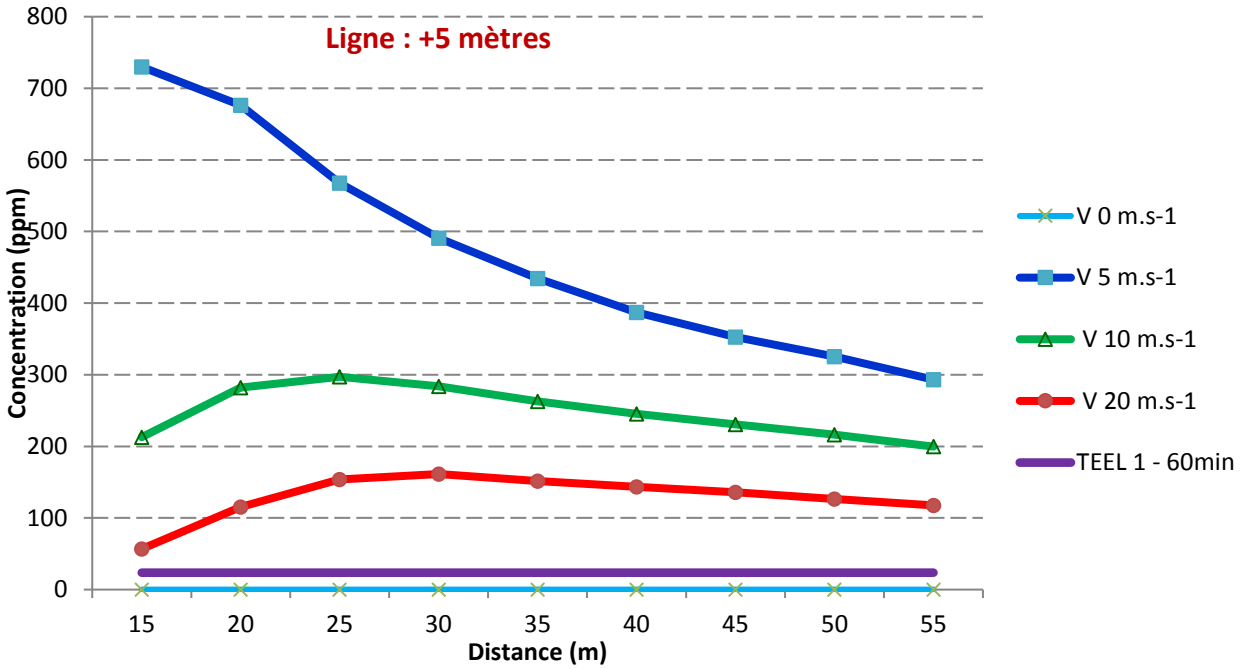


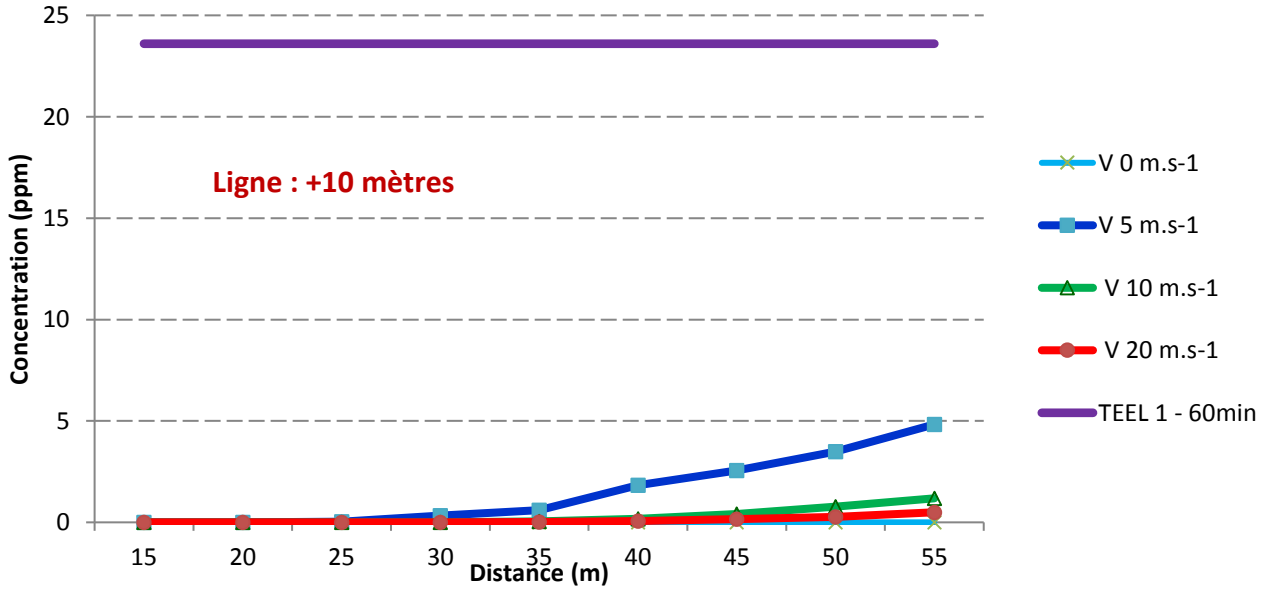




Suies - angle alpha 60°



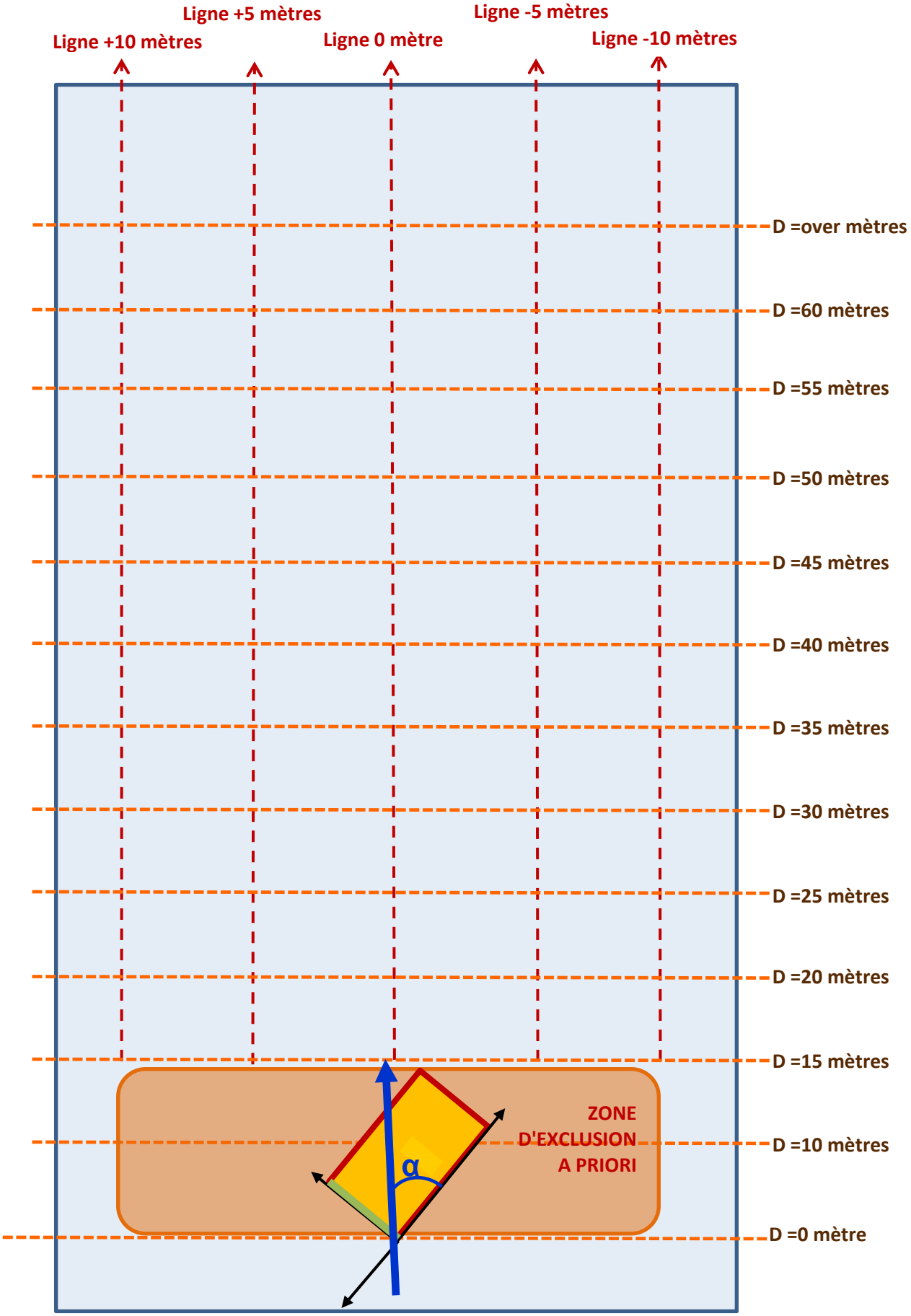




Suies - angle alpha 60°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

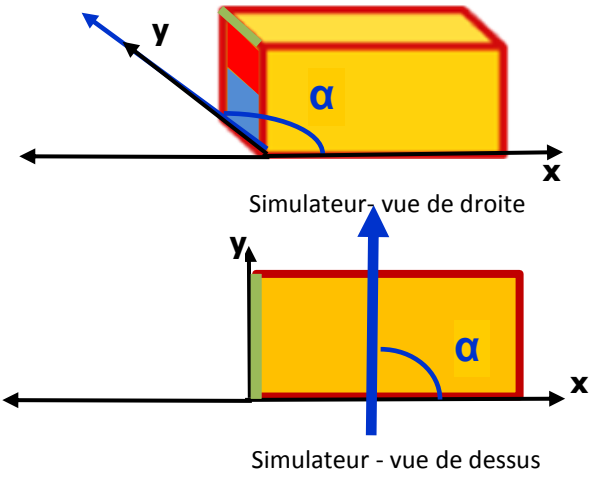
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 60 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1

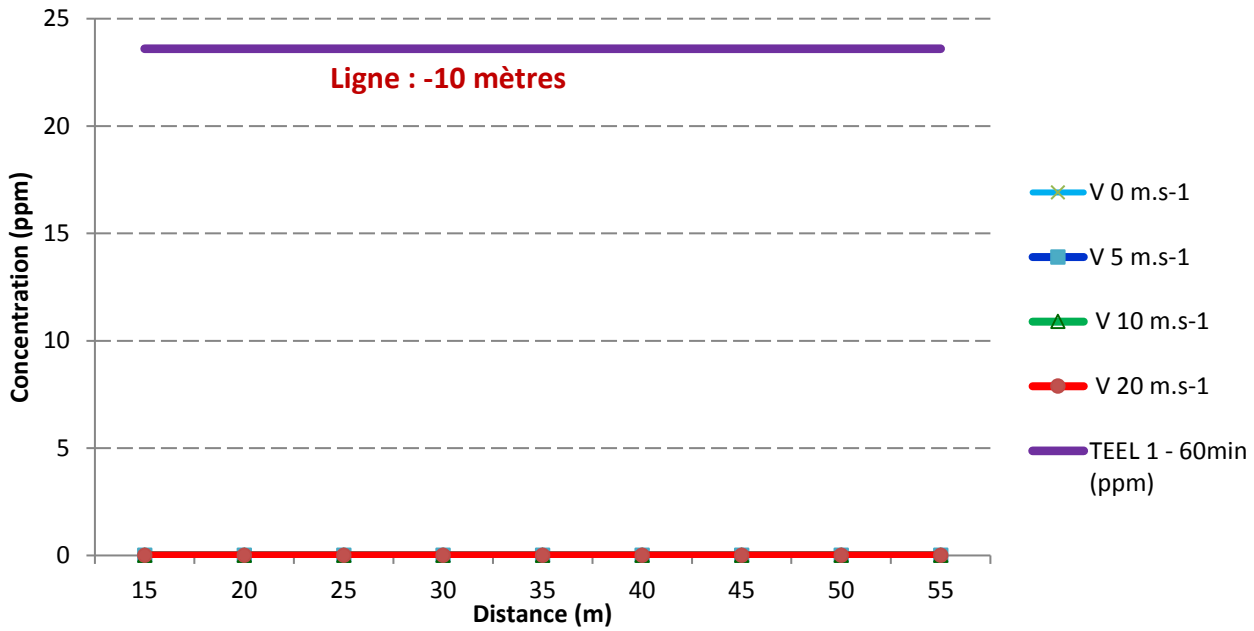


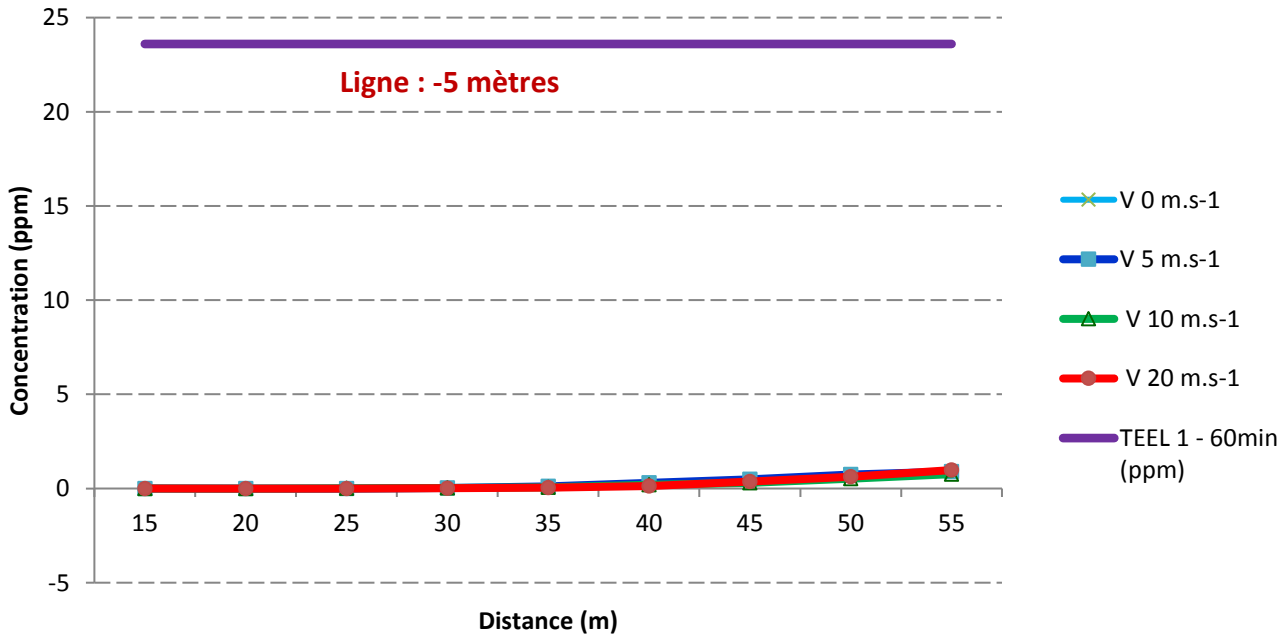
Suies - angle alpha 60°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

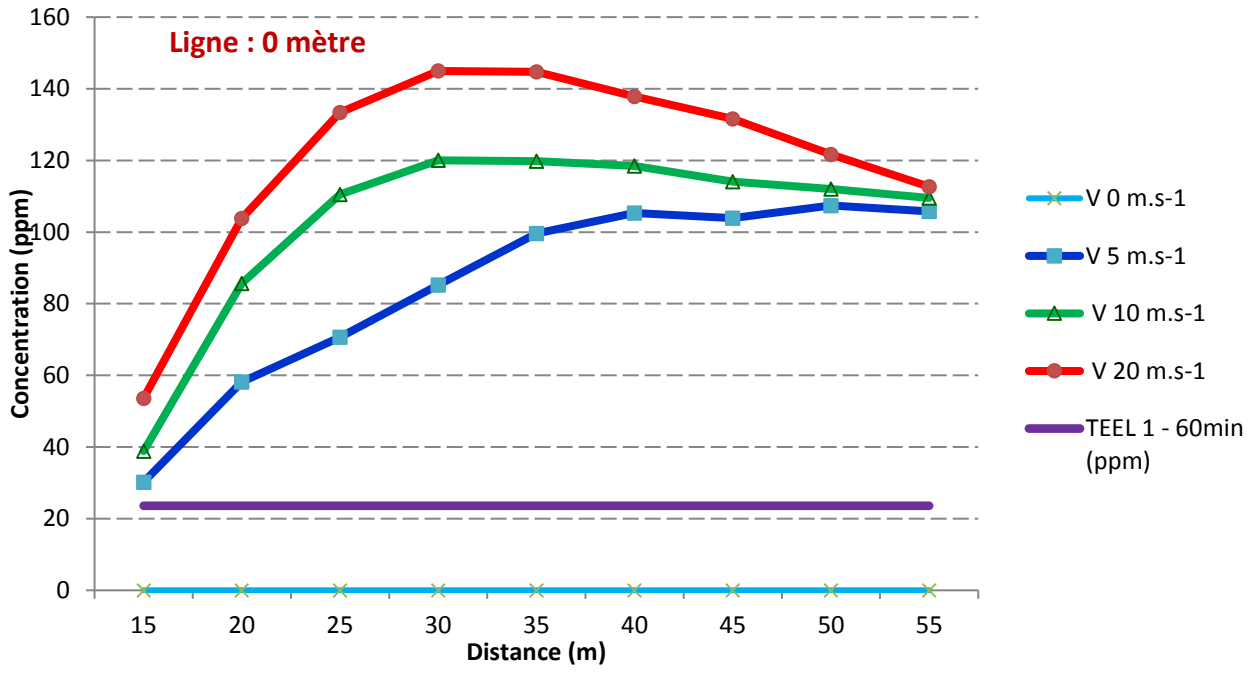
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α =90 °

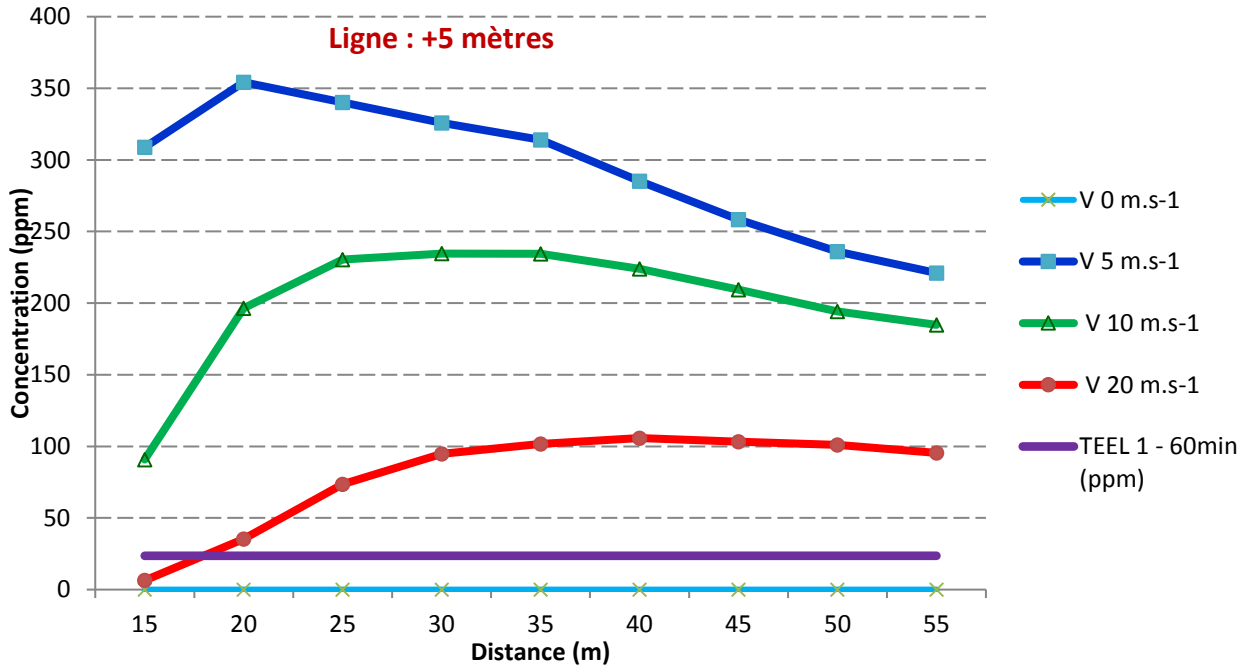


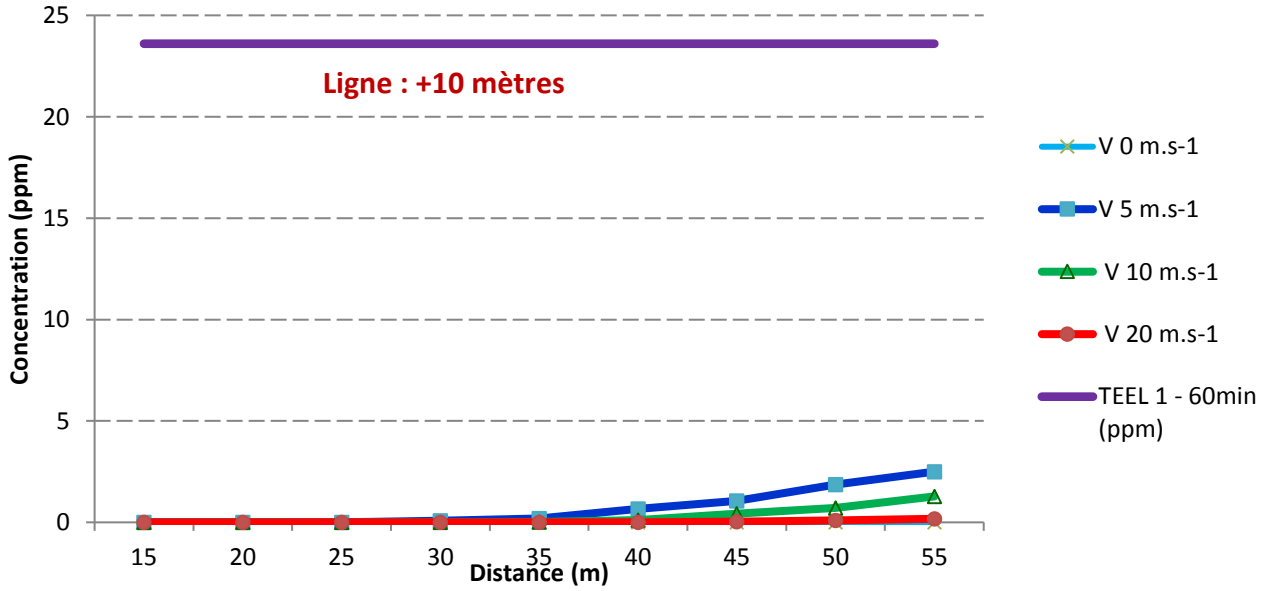




Suies - angle alpha 90°



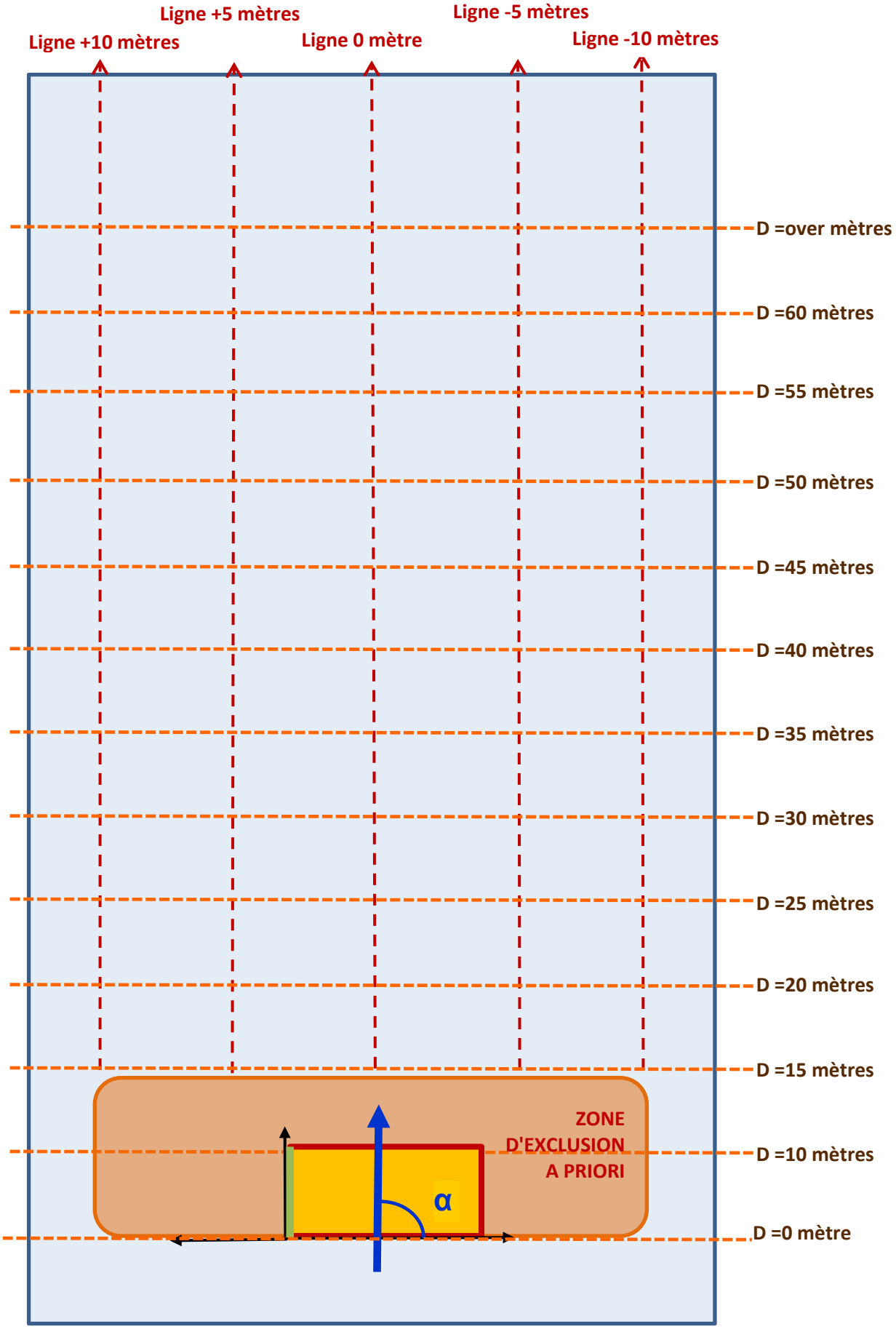




Suies - angle alpha 90°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

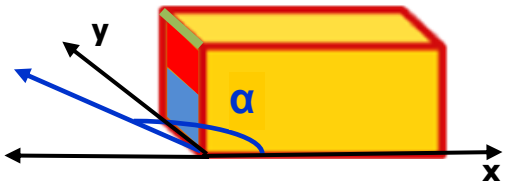
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 90 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



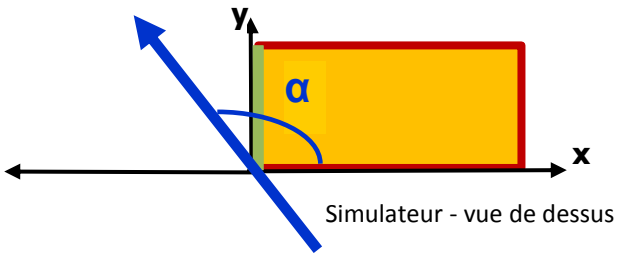
Suies - angle alpha 90°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

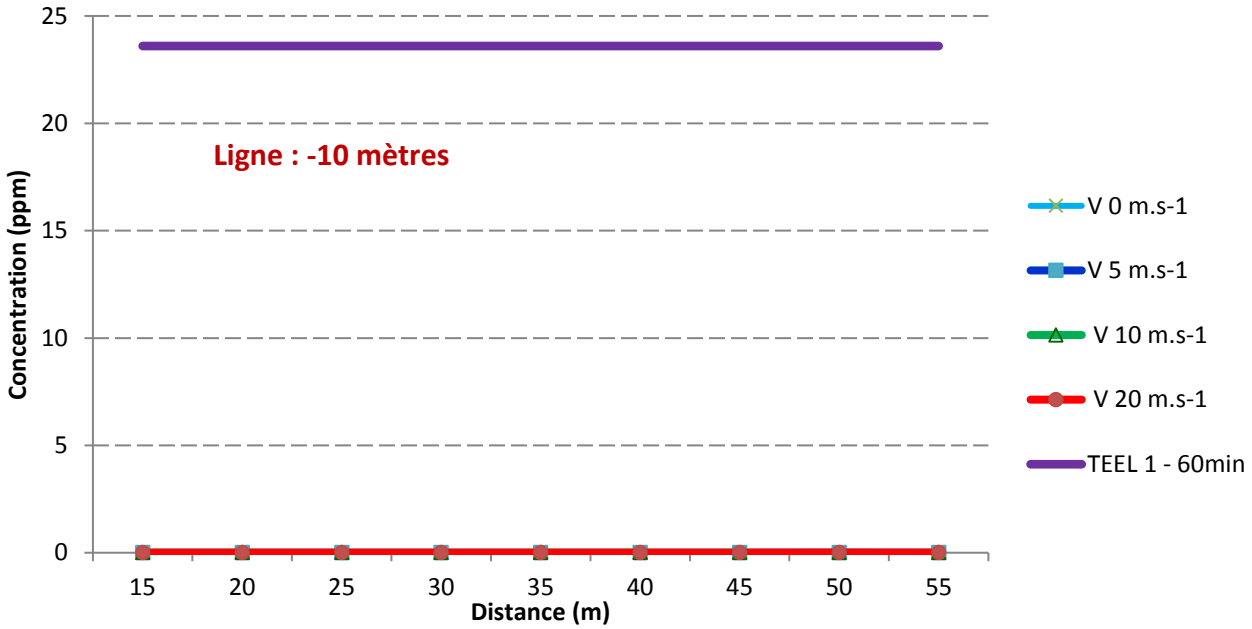
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 120 °

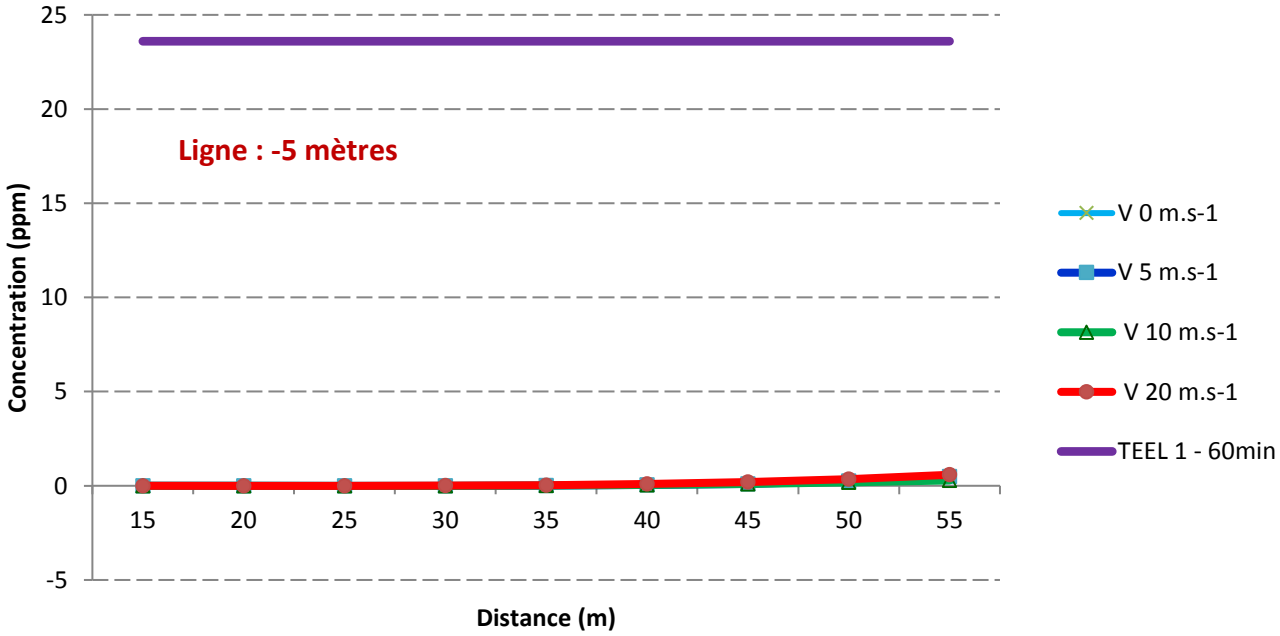


Simulateur- vue de droite

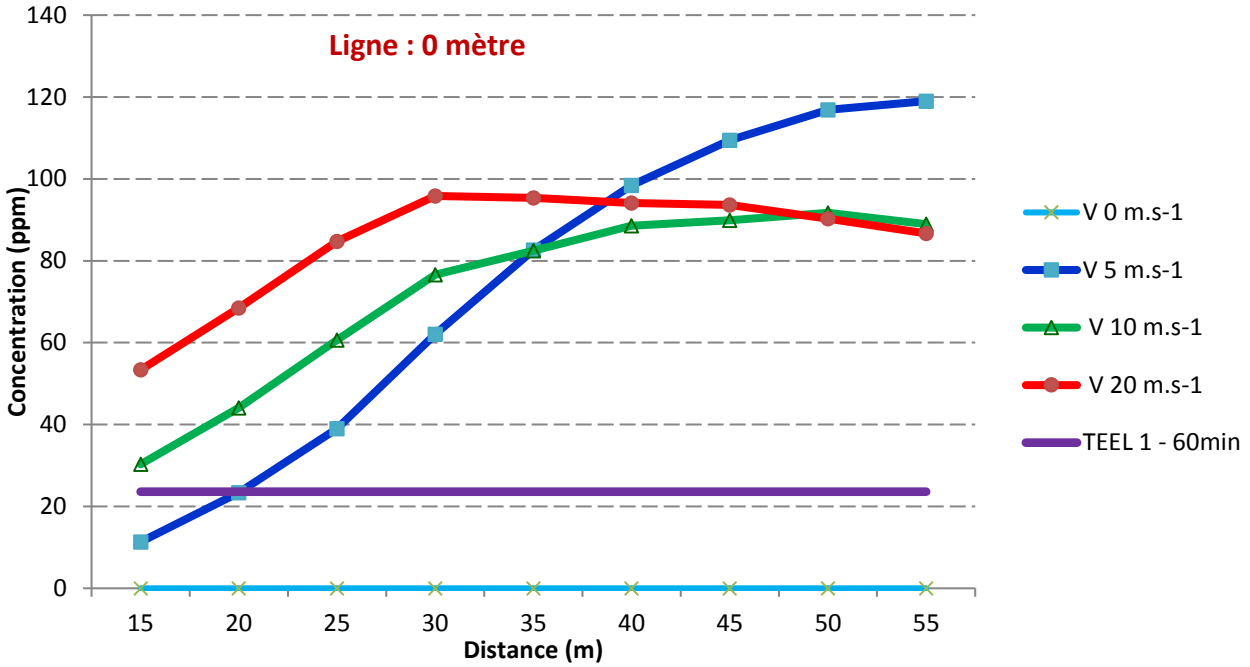


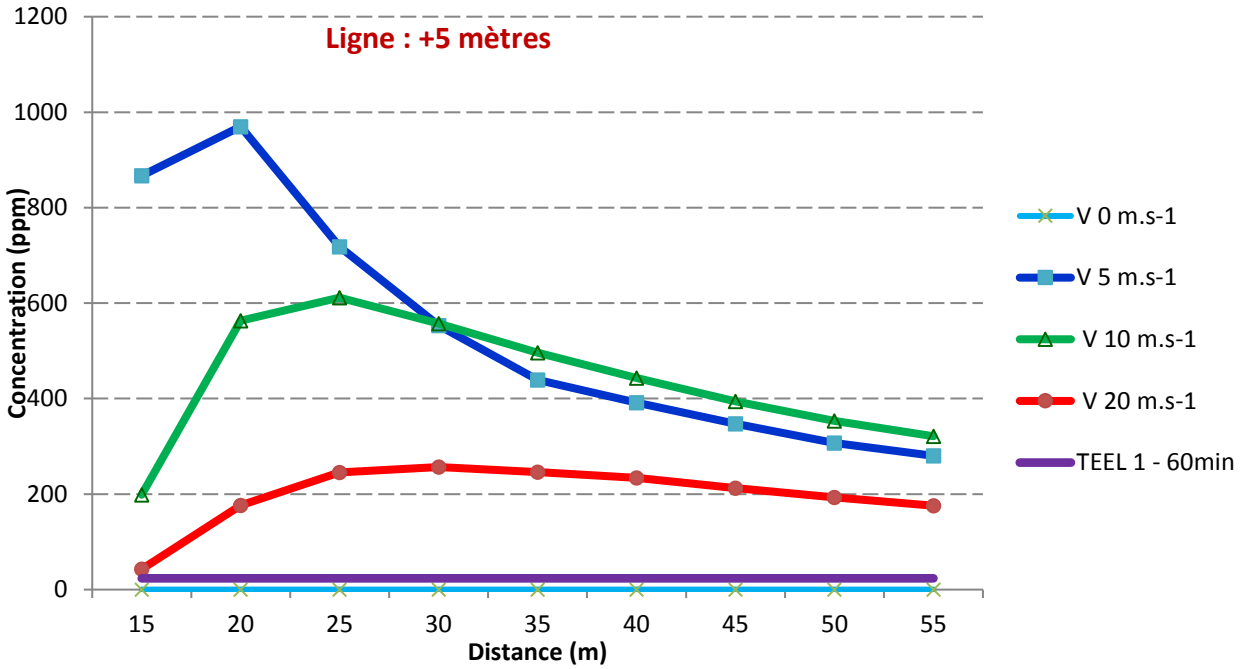
Simulateur - vue de dessus

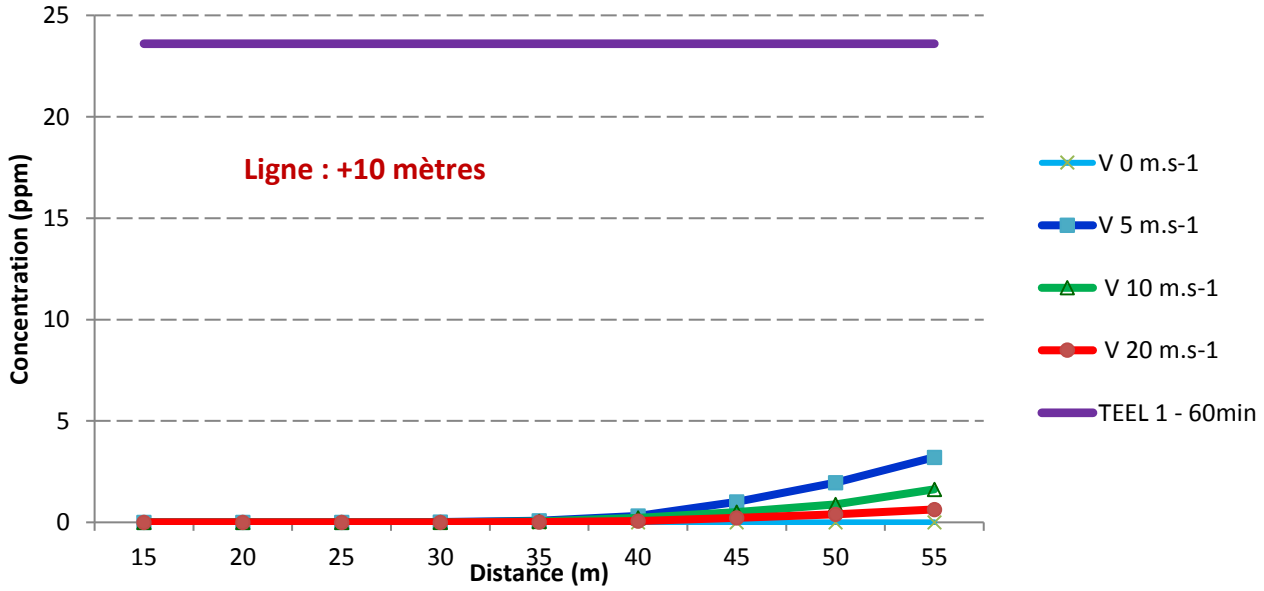




Suies - angle alpha 120°



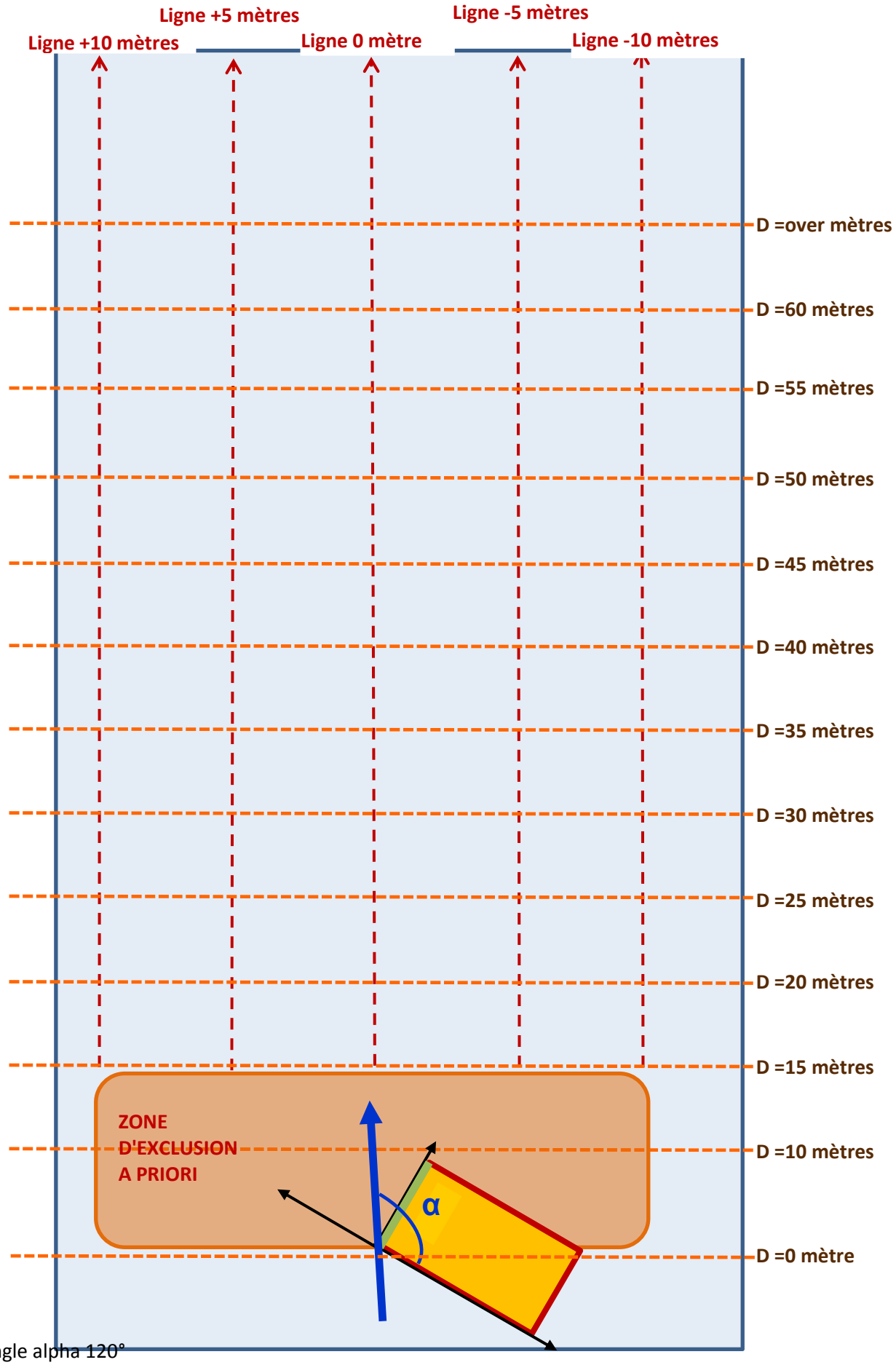




Suies - angle alpha 120°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

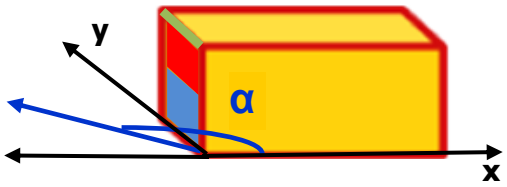
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 120 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



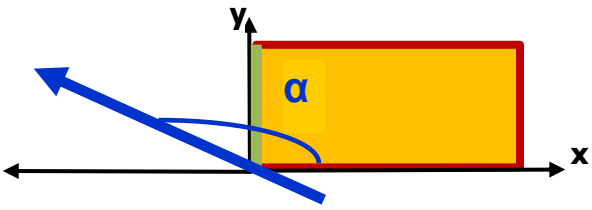
Suies - angle alpha 120°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

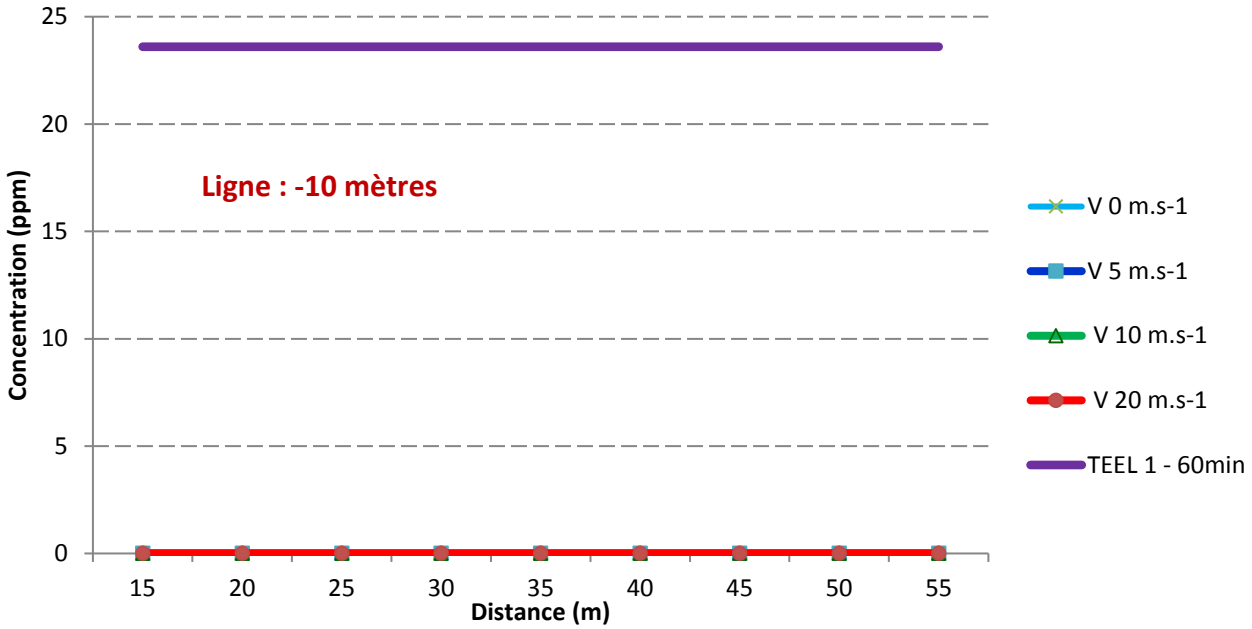
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 150 °

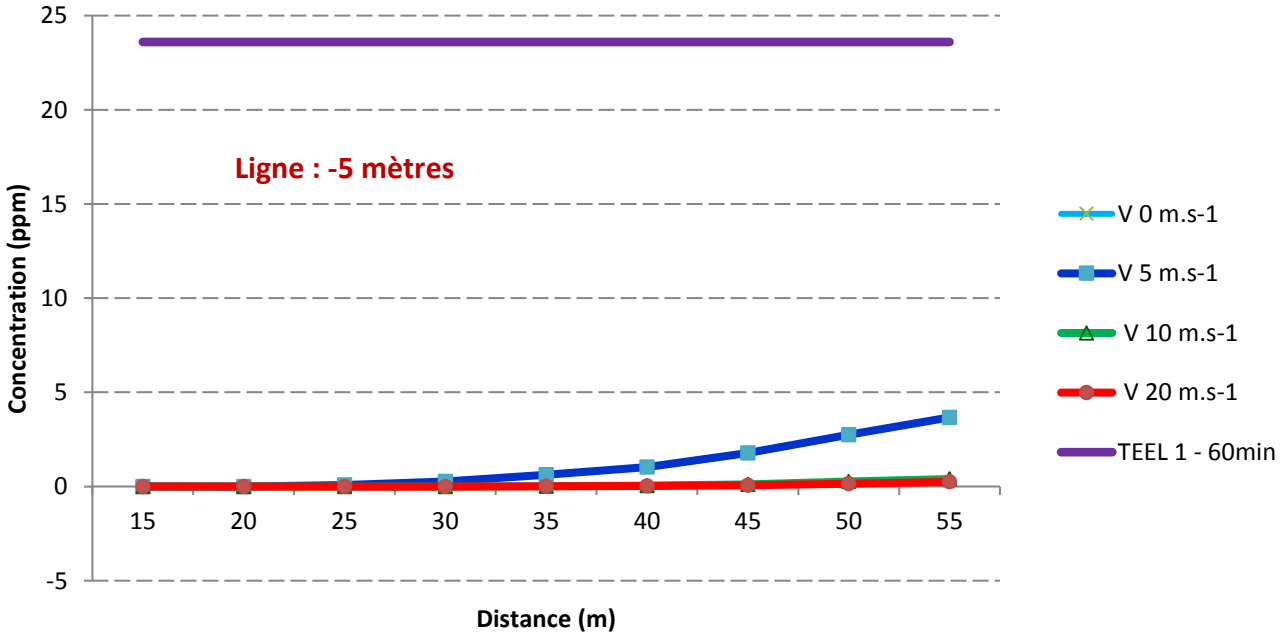


Simulateur- vue de droite

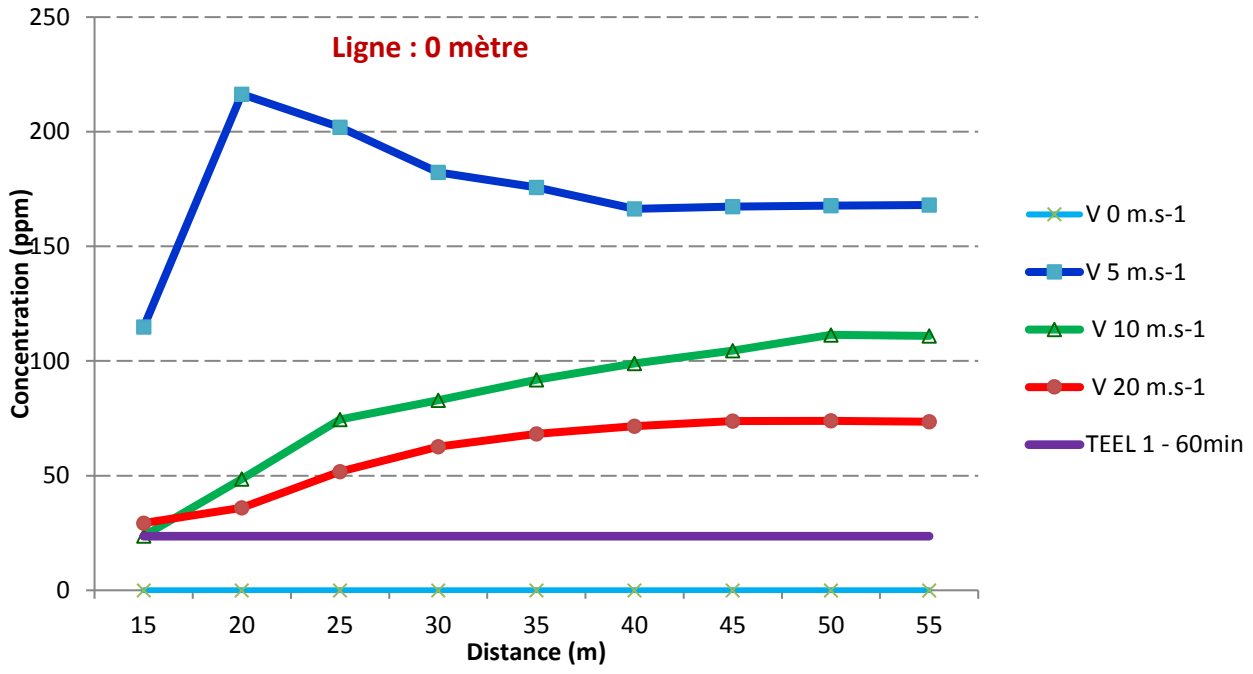


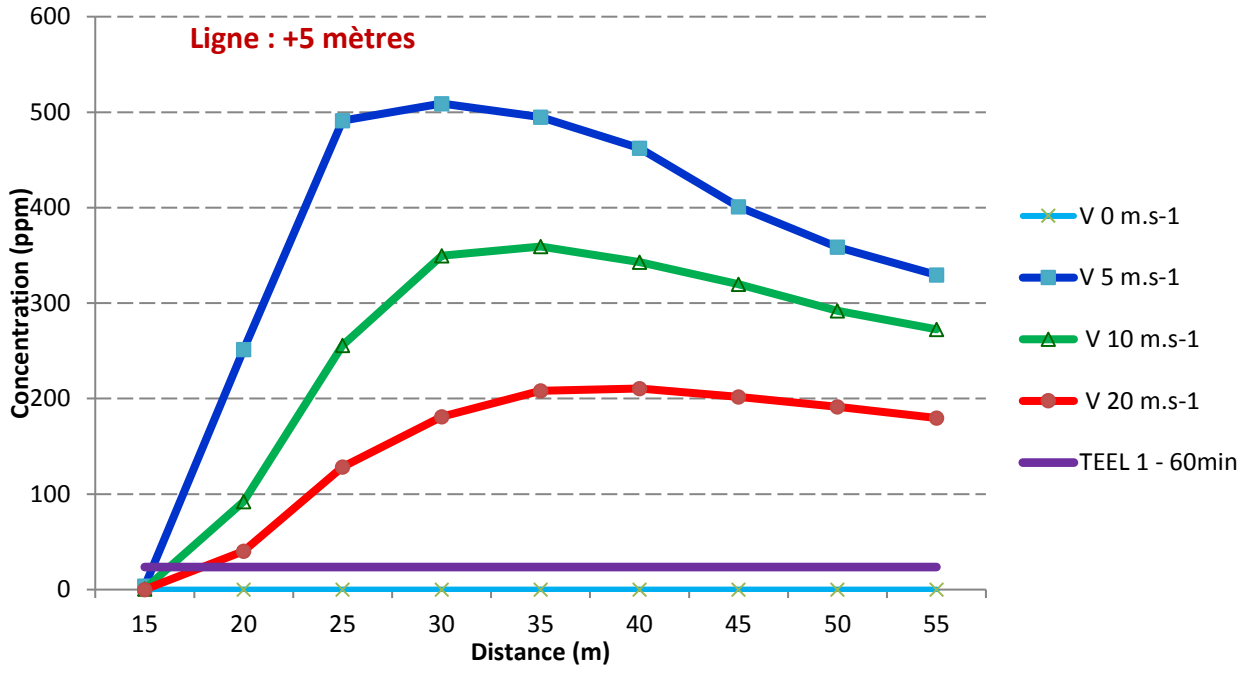
Simulateur - vue de dessus

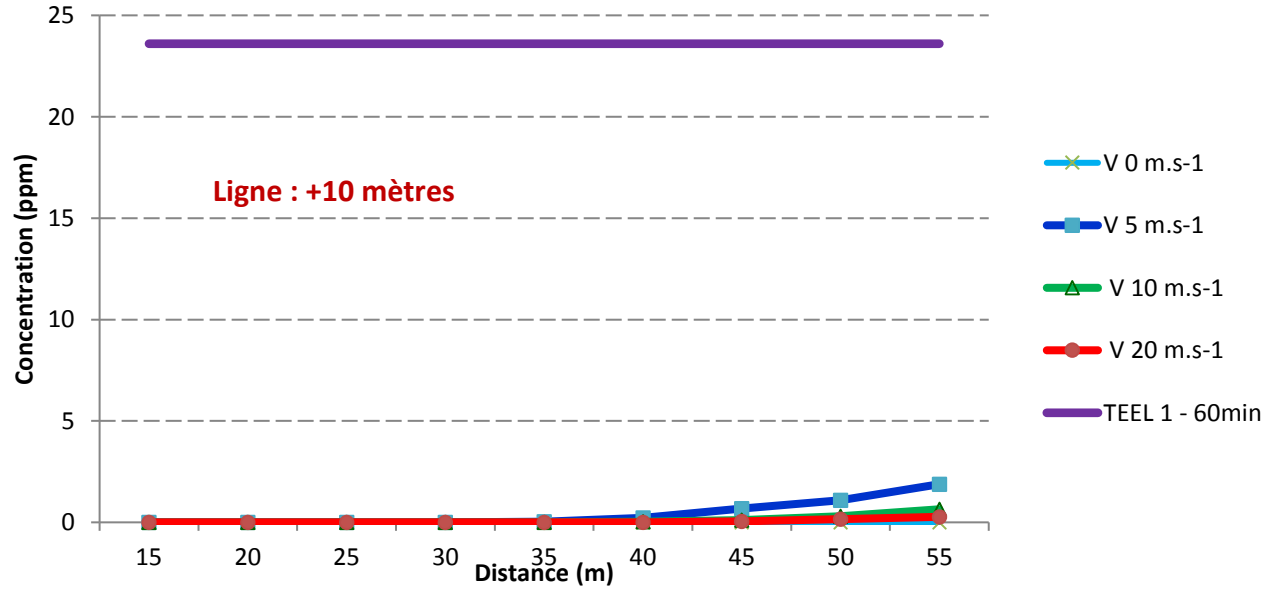




Suies - angle alpha 150°



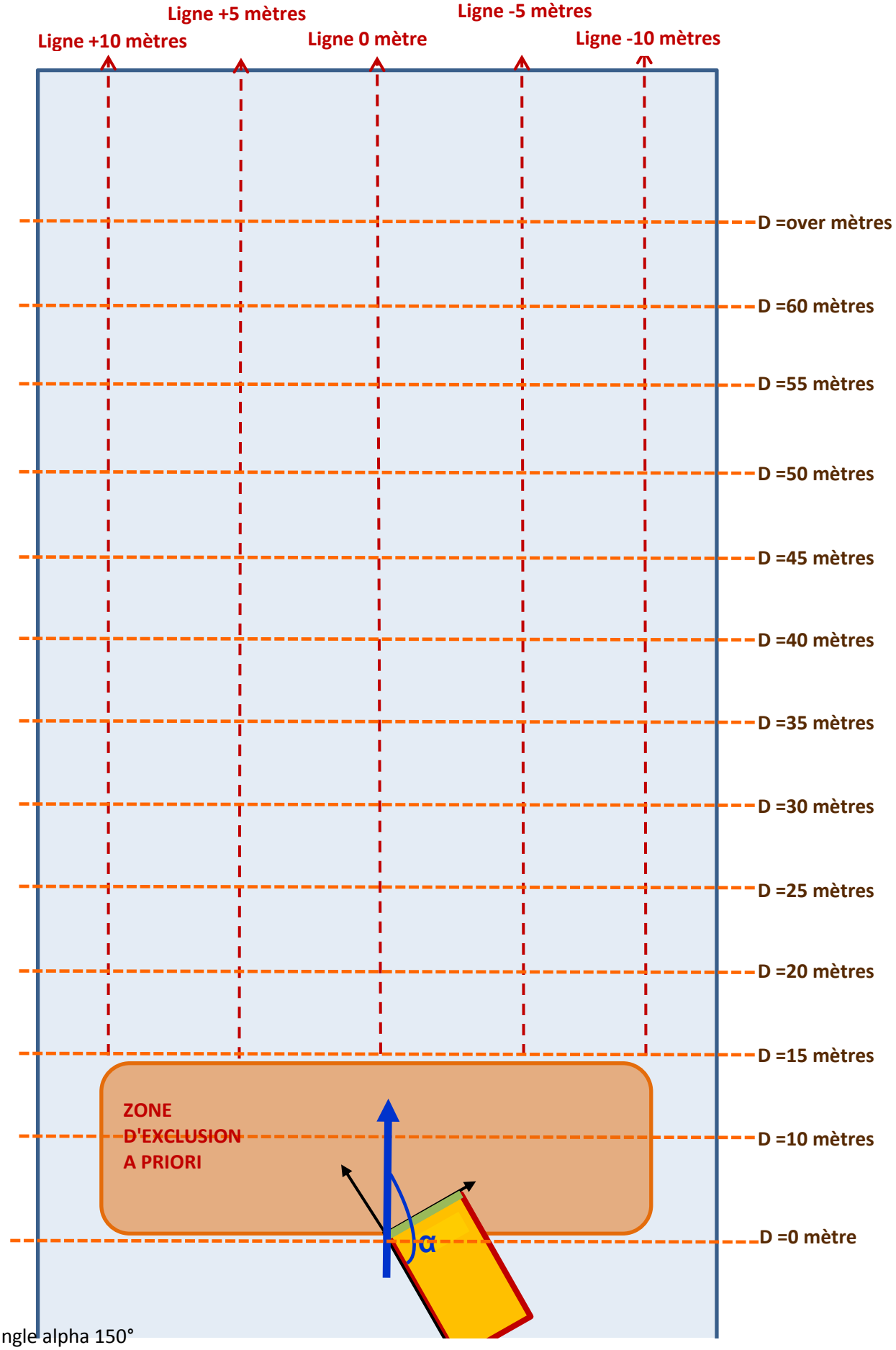




Suies - angle alpha 150°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

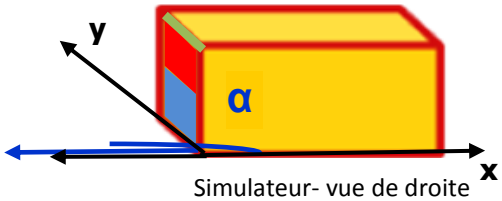
Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 150 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



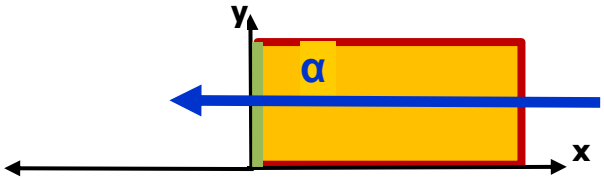
Suies - angle alpha 150°

Concentration des suies émisent par le simulateur feu en fonction de la distance et des 5 lignes du champ d'étude sous le vent.

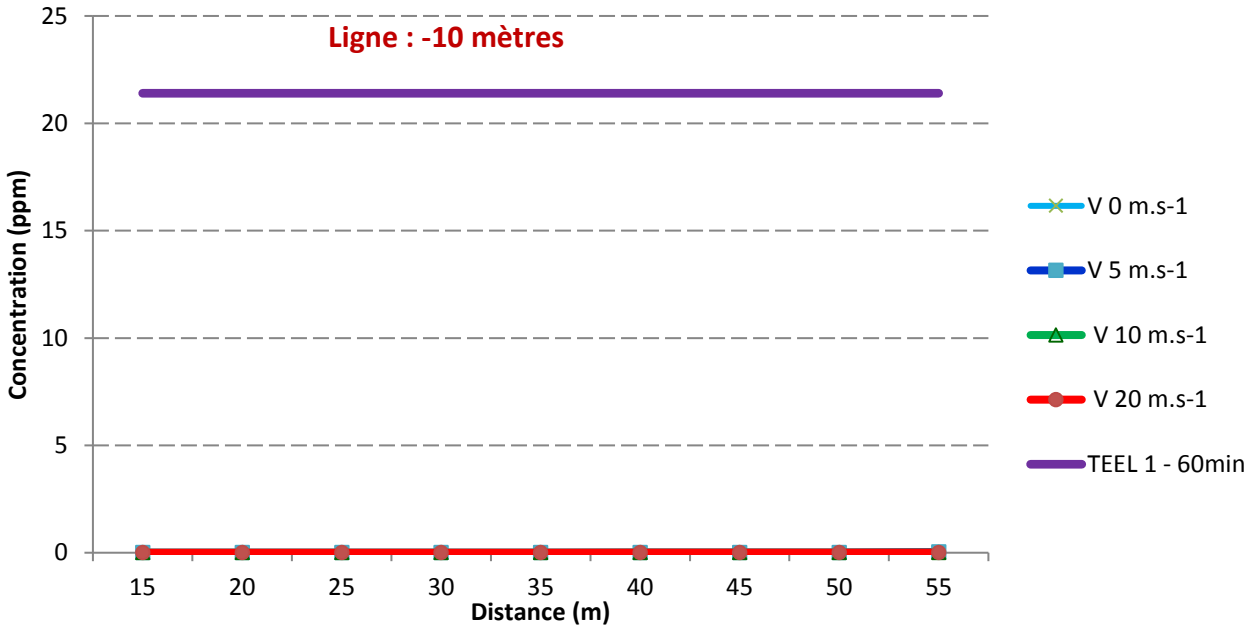
- Charge : 300 kg de bois
- Vent incident avec α = 180 °

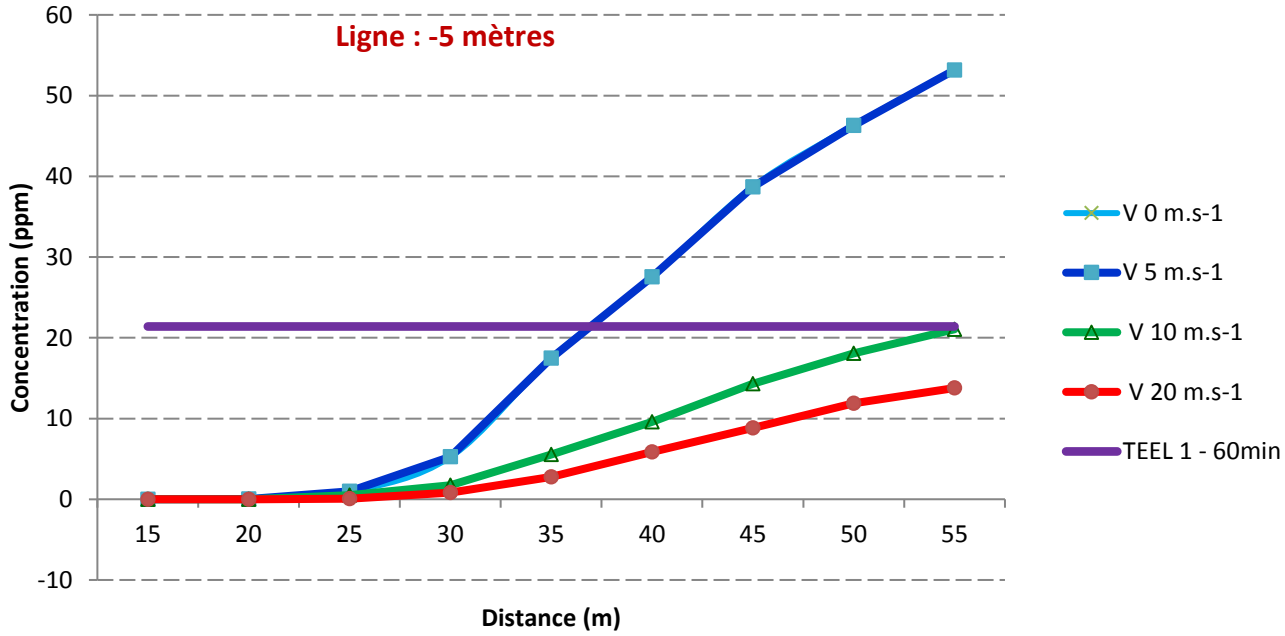


Simulateur- vue de droite

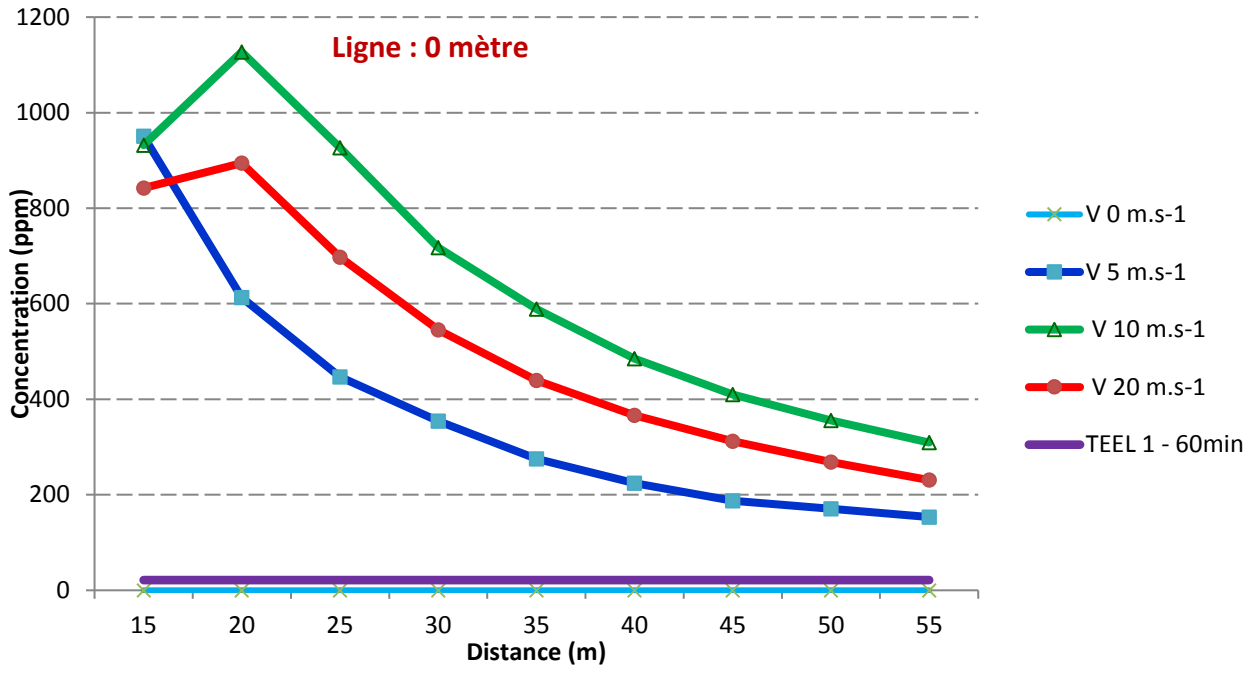


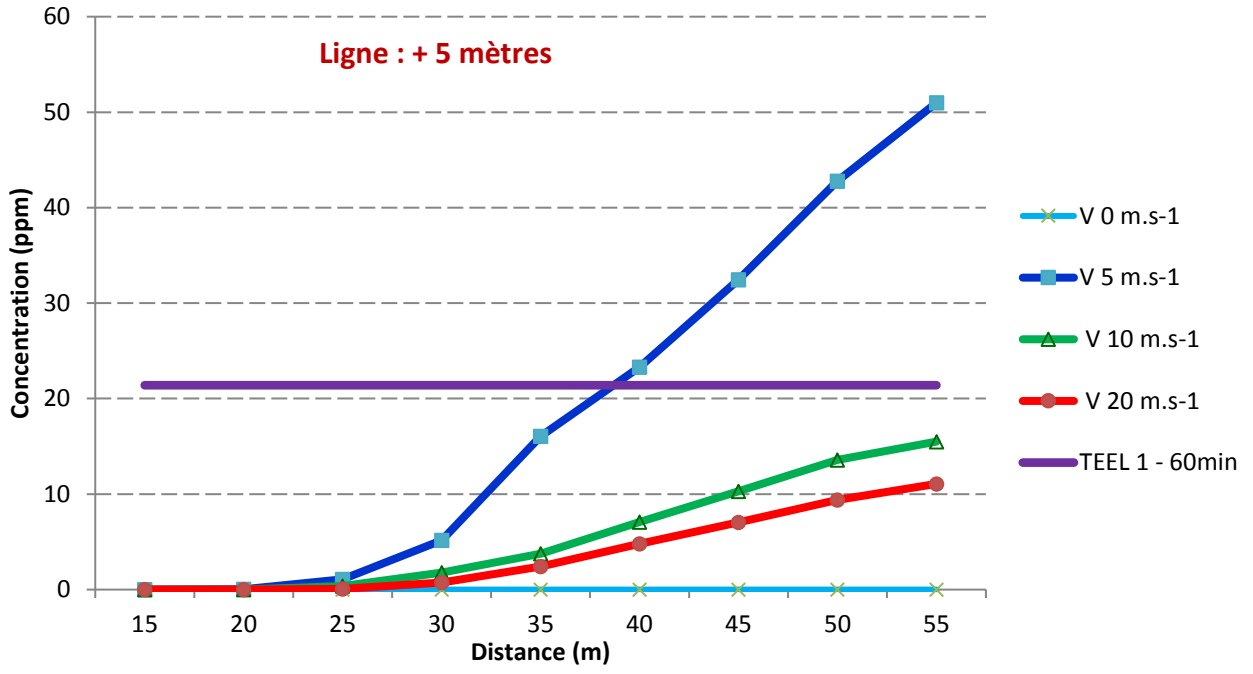
Simulateur - vue de dessus

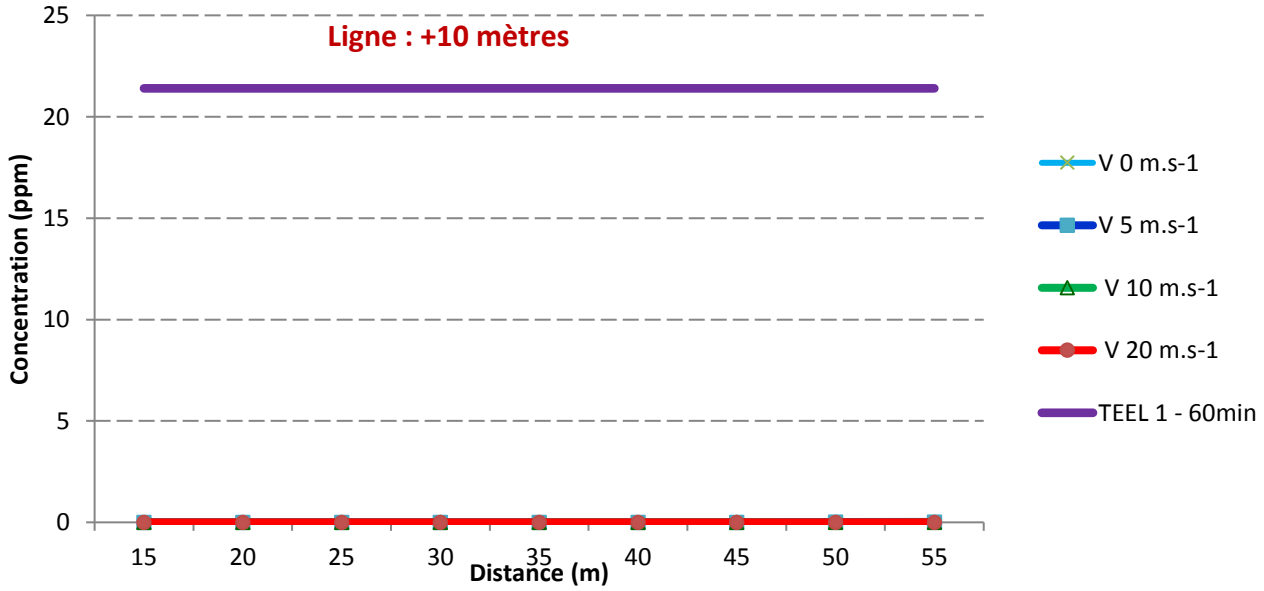




Suies - angle alpha 180°



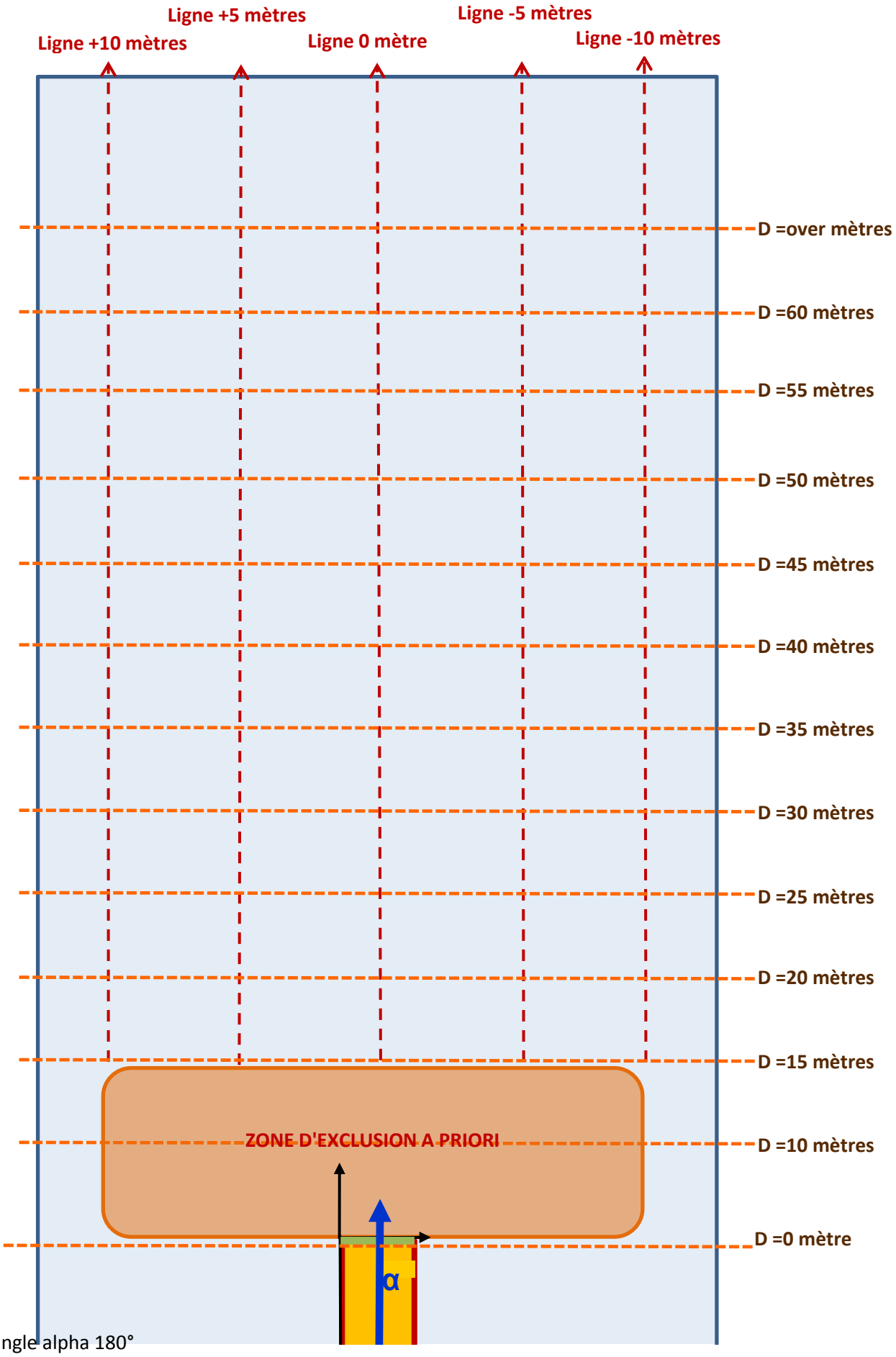




Suies - angle alpha 180°

Traçage du zonage toxicologique pour les suies mis en oeuvre pour l'utilisation du simulateur feu

Charge : 300 kg de bois
Vent incident avec α = 180 °
Vitesse du vent retenu = _____ m.s-1



Suies - angle alpha 180°

ANNEXE 6

Convention IRIAF / ISAE ENSMA / CNRS / laboratoire Pprime / SDIS 79

CONVENTION DE PARTENARIAT

Entre

Le Service Départemental d'Incendie et de Secours des Deux-Sèvres, 100 route de la gare, 79000 NIORT
Représenté par son Président, Monsieur Thierry MAROLLEAU et dirigé par son Directeur le Colonel MARAND.
ci-après nommé **« SDIS 79 »**,

de première une part,

Et

L'Université de Poitiers, Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel
Dont le siège est situé : 15 rue de l'Hôtel-Dieu, 86034 POITIERS Cedex,
Représentée par son Président, Monsieur Yves JEAN,

Agissant au nom et pour le compte de l'Institut des Risques Industriels Assurantiels et Financiers, 11 rue Archimède, 79000 NIORT, dirigé par Monsieur Thomas ROGAUME, ci-après nommé **« IRIAF »**.

de seconde part,

Et

Le CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE,
Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique, dont le siège est situé 3 rue Michel-Ange 75794 PARIS Cedex 16, représenté par son Président, Monsieur Alain FUCHS, lequel a délégué sa signature pour le présent accord à Monsieur Patrice SOULLIE, Délégué Régional CNRS pour la circonscription Centre Limousin Poitou-Charentes, n° SIRET 180 089 013 03183, code APE 7219Z,
Ci-après désigné par le « CNRS»,

Le CNRS conventionné avec l'Université et l'ISAE-ENSMA, agissant pour son propre compte et pour le compte de l'Institut Polytechnique de Poitiers : Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique (UPR CNRS n°3346), domicilié au téléport 2, SP2MI, Boulevard Pierre et Marie Curie, BP 30179, 86962 FUTUROSCOPE- CHASSENEUIL Cedex et dirigé par Monsieur Jean-Paul BONNET,
ci-après désigné par « PPRIME »,

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE MECANIQUE ET D'AEROTECHNIQUE, (ISAE-ENSMA)
Etablissement Public à caractère Administratif, dont le siège est situé Téléport 2, 1, Avenue Clément Ader, BP40109, 86361 FUTUROSCOPE-Chasseneuil-du-Poitou Cedex, représenté par son Directeur Monsieur Francis COTTET,
Ci-après désigné par l'« ISAE-ENSMA»

L'UNIVERSITE DE POITIERS
Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, dont le siège est situé 15, rue de l'Hôtel Dieu, 86034 POITIERS Cedex, représenté par son Président Monsieur Yves JEAN,
Ci-après désigné par l'« UP»,

de troisième part,

Le CNRS, l'ISAE-ENSMA et l'UP sont ci-après désignés collectivement par l'« ETABLISSEMENT ».

Le SDIS 79 et l'ETABLISSEMENT sont ci-après désignés collectivement par les « PARTIES » et individuellement par la « PARTIE ».

Article 1 : Objet de la convention

La présente convention a pour objet :

- de fixer la nature des partenariats entre le SDIS 79 et l'ETABLISSEMENT.
- de définir les modalités d'utilisation des appareils et équipements des diverses PARTIES.
- de définir des activités communes de formation et de recherche dans le domaine de la sécurité incendie

Article 2 : Pré requis des PARTIES

Le SDIS 79 possède un plateau technique permettant la formation de son personnel à la sécurité incendie. Ce plateau est équipé de diverses installations spécifiques, de moyens d'intervention ainsi que d'une salle de formation.

Le SDIS 79 organise plusieurs fois dans l'année des sessions de formations de ses personnels à la sécurité incendie et aux interventions en cas de sinistre, à différents niveaux de compétences.

Le SDIS 79 possède un savoir-faire sur la réalisation de feux à taille réelle et réduite.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF) possède des compétences scientifiques et pédagogiques dans le domaine de la combustion, les transferts thermiques et la sécurité incendie.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF) déploie des outils statistiques dans le domaine des incendies domestiques.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF) forme des étudiants dans le domaine de la sécurité, des risques industriels, environnementaux et informationnels.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF) accueille des étudiants en contrat de professionnalisation, en contrat d'apprentissage et s'implique dans la validation d'acquis d'expérience et d'acquis professionnels.

L'ETABLISSEMENT (PPRIME) possède de multiples capacités (humaines et techniques) d'expertise dans le domaine de la combustion, des transferts thermiques et de la sécurité incendie.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF et PPRIME) est équipé de multiples dispositifs expérimentaux et analytiques de caractérisation et de quantification des paramètres de combustion, de transferts thermiques et d'émissions gazeuses

Article 3 : Nature du partenariat

Les personnels de l'ETABLISSEMENT (IRIAF et PPRIME) réalisent des mesures scientifiques et analytiques lors des essais de brûlage réalisés par le SDIS 79. Ces mesures sont fournies au SDIS 79 par l'IRIAF. Le SDIS 79 peut en faire usage sauf opposition de l'IRIAF. Une information (mesures scientifiques et ou conclusions) peut-être différée sur demande de l'IRIAF. Dès lors qu'elle est publique (ex : parution d'un article scientifique, de presse, communication institutionnelle…), elle peut-être utilisée par le SDIS 79.
Le nom et l'image du SDIS 79 seront associés dans les publications et/ou les communications faites par l'ETABLISSEMENT (IRIAF et PPRIME).

Les Parties s'engagent à ne pas porter préjudice à leur image et à leur renom.

En lien avec le SDIS79, les personnels de l'ETABLISSEMENT (IRIAF et PPRIME) réalisent des analyses et des études expérimentales et numériques intéressant le SDIS 79 portant sur l'étude des fumées et gaz de combustion émis lors de l'utilisation des simulateurs de feu.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF) déploie avec le soutien du SDIS 79 des outils de zonage de concentration des composés chimiques.

Le SDIS 79 met à disposition ses outils de simulation de feu.

Article 4 : Durée de la convention

La présente convention est consentie et acceptée pour une durée de 3 ans, à compter de la date de signature, sauf dénonciation par l'une des Parties en cas de manquement aux accords précédents. Elle est renouvelable par avenant signé des PARTIES.

Article 5 : Garanties et assurances

Le Directeur du SDIS des Deux-Sèvres prend les dispositions nécessaires pour garantir sa responsabilité civile chaque fois qu'elle peut être engagée.

L'ETABLISSEMENT (IRIAF et PPRIME) prend les dispositions nécessaires pour garantir sa responsabilité civile chaque fois qu'elle peut être engagée.

Article 6 : Modalités de résiliation

La présente convention peut être dénoncée par chacune des PARTIES à tout moment, par courrier recommandé avec accusé de réception, avec un préavis de 3 mois.

Article 7 : Litiges

Le présent contrat est soumis aux lois et règlements français. En cas de difficulté sur l'interprétation ou l'exécution du présent contrat, les PARTIES s'efforceront de résoudre leur différend à l'amiable. En cas de désaccord persistant, les tribunaux territorialement compétents seront saisis.

Fait à , le
en quatre exemplaires originaux

Pour le Président, Par délégation	Université de Poitiers	CNRS	ISAE-ENSMA
Colonel Patrick MARAND Directeur	Yves JEAN Président	Patrice SOULLIE Délégué Régional	Francis COTTET Directeur

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR
DE L'OUTRE MER
ET DES
COLLECTIVITES TERRITORIALES

Formation Spécialisée Conseiller Technique en Risques Chimiques - RCH4

Imprimé et diffusé
par l'ENSOSP

BP 20 316 - 1070, rue du ltn Parayre
13798 Aix en Provence cédex 3
tél. : + 33 4 42 39 04 73
Fax. : +33 4 42 39 04 79