

**CONVENTION MEDDE – DGPR / SNPQE**  
**Prévention des nuisances et qualité de l'environnement**

*Ces travaux bénéficient du soutien du Ministère de l'Ecologie  
dans le cadre de la convention n°2200668148  
et du Ministère de l'Agriculture*

*dans le cadre de la convention DGPAAT-BSE 2012-2014 du 12/11/2012*



## **Etude des performances des équipements de maîtrise des doses des matériels d'épandage de matière organique**

### ***Rapport sur les résultats obtenus avec l'outil d'évaluation***

Novembre 2014

**ROUX JEAN-CHRISTOPHE  
DE FREITAS NICOLAS  
PRADEL MARILYS**

**PIRON EMMANUEL  
MAZOYER JACKY  
MICLET DENIS**

Irstea, Unité de recherche TSCF  
Centre de Clermont-Ferrand  
Domaine des Palaquins  
03150 Montoldre  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)



**Ces travaux bénéficient d'un co-financement du Ministère chargé de l'agriculture**

## Table des Matières

INTRODUCTION & OBJECTIF .....	5
I - EXEMPLES DE SIMULATION.....	5
<i>I - 1. Définition de l'épandeur virtuel</i> .....	5
<i>I - 2. Equipements de maîtrise de dose</i> .....	6
<i>I - 3. Paramètres d'épandage</i> .....	7
II - RÉSULTATS OBTENUS PAR UTILISATION DU SIMULATEUR .....	8
<i>II - 1. Résultats sans équipement</i> .....	8
<i>II - 2. Résultats avec "Pesée statique : 6 capteurs "</i> .....	11
<i>II - 3. Résultats avec "Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour"</i> .....	13
<i>II - 4. Résultats avec "Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA"</i> .....	15
<i>II - 5. Résultats avec "Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour, DPA et Guidage automatique"</i> .....	17
<i>II - 6. Résultats et simulations</i> .....	19
CONCLUSION .....	20

## Table des Figures

FIGURE 1 : DÉFINITION DE L'ÉPANDEUR .....	5
FIGURE 2 : EQUIPEMENTS DE MAÎTRISE DE DOSE .....	6
FIGURE 3 : SUIVI DE CONTOUR.....	7
FIGURE 4 : SYNTHÈSE SANS DISPOSITIF SÉLECTIONNÉ .....	8
FIGURE 5 : JUSTESSE / PRÉCISION.....	9
FIGURE 6 : RÉCAPITULATIF SANS DISPOSITIF SÉLECTIONNÉ .....	10
FIGURE 7 : SYNTHÈSE "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS" .....	11
FIGURE 8 : RÉCAPITULATIF "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS" .....	12
FIGURE 9 : SYNTHÈSE "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS ET SUIVI DE CONTOUR" .....	13
FIGURE 10 : RÉCAPITULATIF "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS ET SUIVI DE CONTOUR" .....	14
FIGURE 11 : SYNTHÈSE "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS, SUIVI DE CONTOUR ET DPA" .....	15
FIGURE 12 : RÉCAPITULATIF "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS, SUIVI DE CONTOUR ET DPA" .....	16
FIGURE 13 : SYNTHÈSE "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS, SUIVI DE CONTOUR, DPA ET GUIDAGE AUTOMATIQUE " .....	17
FIGURE 14 : RÉCAPITULATIF "PESÉE STATIQUE : 6 CAPTEURS, SUIVI DE CONTOUR, DPA ET GUIDAGE AUTOMATIQUE " .....	18
FIGURE 15 : 10 SIMULATIONS POUR CHAQUE CONFIGURATION .....	19

## INTRODUCTION & OBJECTIF

Ce document a pour objectif de présenter et d'expliquer le type de résultats pouvant être obtenus par utilisation de l'outil de simulation d'utilisation des dispositifs de maîtrise de la dose en épandage centrifuge des engrais organiques solides.

Il s'agit d'exposer, au travers d'exemples issus de l'utilisation du simulateur, l'impact sur l'épandage de chacun des groupes de dispositif de maîtrise de dose :

- Gestion de la largeur de travail,
- Gestion de la régularité de débit,
- Gestion de la masse volumique,
- Gestion fond mouvant & vitesse du véhicule.

## I - EXEMPLES DE SIMULATION

Pour obtenir une simulation de l'efficacité des organes de maîtrise de dose, trois étapes préalables de définition sont nécessaires :

- La définition de l'épandeur,
- Le choix des équipements de maîtrise de dose,
- Les paramètres d'épandage.

Un exemple concret de ces trois étapes est présenté dans ce paragraphe.

### I - 1. Définition de l'épandeur virtuel

- volume de caisse de 10m<sup>3</sup>,
- hérissons horizontaux + Table comme dispositif d'épandage,
- Fumier composté.

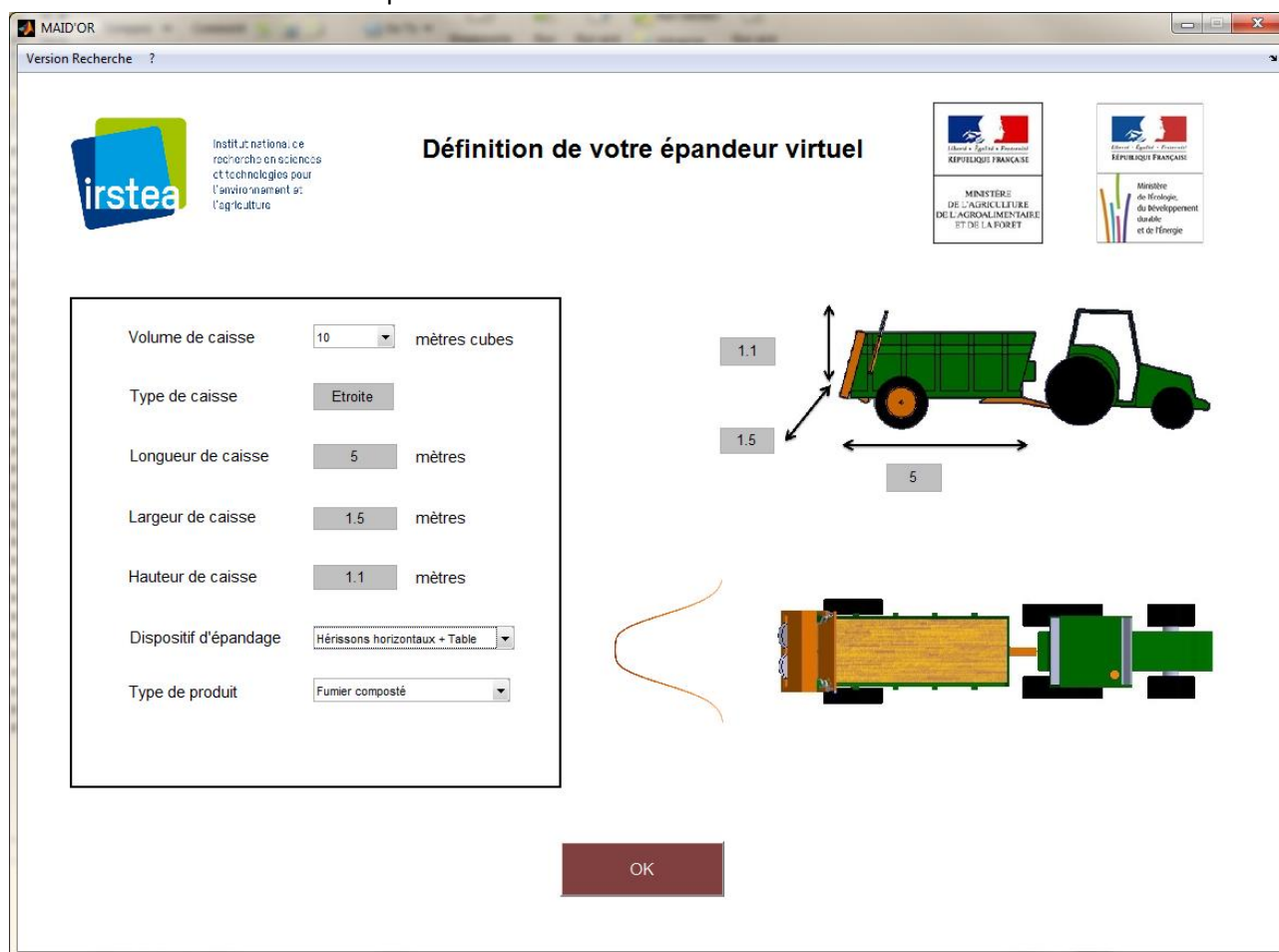


Figure 1 : Définition de l'épandeur

## I - 2. Equipements de maîtrise de dose

Un équipement a été choisi pour chacun des groupes de dispositifs :

- *Gestion de la largeur de travail*,
  - Jalonnage : Guidage automatique,
- *Gestion de la masse volumique*,
  - Pesée statique : 6 capteurs sur double châssis
- *Gestion de la régulation de débit*,
  - Suivi de contour\*,
- *Gestion de la vitesse du fond mouvant*,
  - Avec DPA.

**Equipements de maîtrise de dose de votre épandeur virtuel**

Objectif de dose: 10 t/ha  
Vitesse d'épandage: 10 km/h  
Longueur du champ: 100 m  
Largeur de travail: 12 m

Dispositif: Avec DPA

Guidage automatique : régulation automatique de la trajectoire définie par le GPS du tracteur.  
Pesée statique : mesure de la masse réellement chargée pour le réglage de la vitesse du tapis.  
Suivi de contour : régulation de la vitesse du tapis en fonction de la hauteur du produit dans la caisse.  
Avec DPA : régulation du Débit Proportionnel à l'Avancement.

Figure 2 : Equipements de maîtrise de dose

\* <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20090729/patents/EP1797751NWB1/document.pdf>

Le schéma suivant explicite le fonctionnement du suivi de contour. Un capteur permet à la porte de suivre le contour du produit dans la caisse. Un autre capteur permet de connaître la hauteur de la porte et donc la section de sortie du produit ; le but étant de réguler le tapis en fonction de la section de produit sortant afin d'obtenir un débit constant.

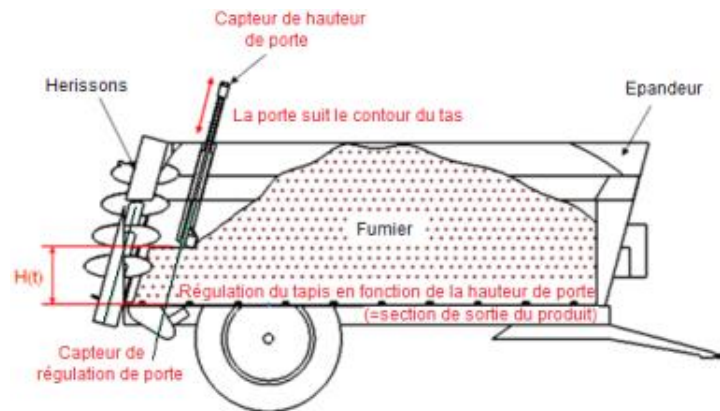


Figure 3 : Suivi de contour

### I - 3. Paramètres d'épandage

---

- Objectif de dose : 10t/ha,
- Vitesse d'épandage : 10km/h,
- Longueur du champ : 100m,
- Largeur de travail : 12m.

## II - RÉSULTATS OBTENUS PAR UTILISATION DU SIMULATEUR

Dans le but d'expliciter la nature des résultats rendus par le simulateur, plusieurs cas de figures d'épandage avec différents équipements de maîtrise de dose sont présentés ci-après.

### II - 1. Résultats sans équipement

La figure suivante illustre un résultat obtenu avec le simulateur si une configuration sans dispositif de maîtrise de la dose n'est sélectionnée :

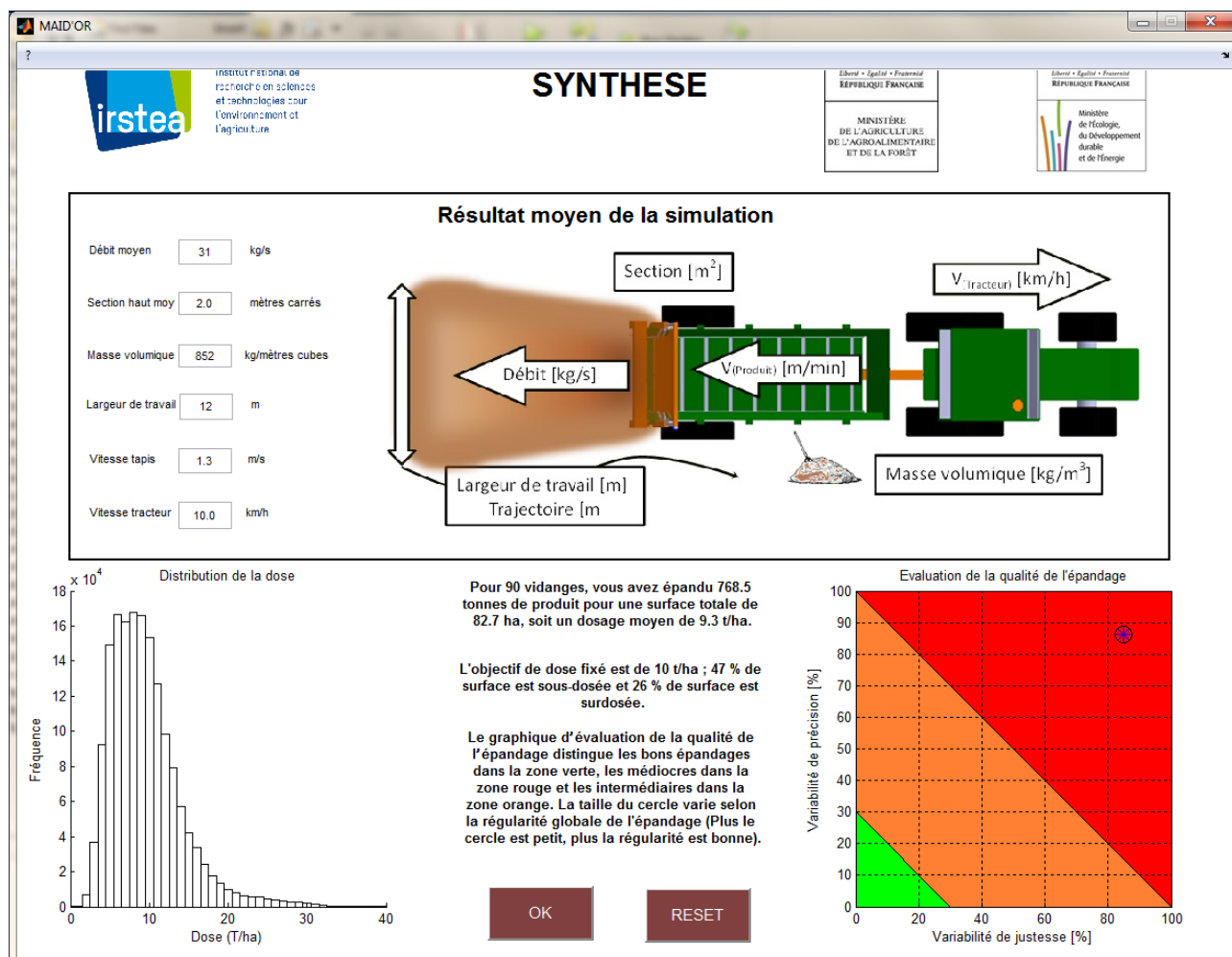


Figure 4 : Synthèse sans dispositif sélectionné



Le formulaire de synthèse obtenu en fin de processus de simulation regroupe les résultats moyens de la simulation, un diagramme en bâtons représentant la distribution des doses dans le champ et enfin un graphique d'évaluation de la qualité de l'épandage susceptible d'être réalisé. Ce dernier graphique a pour but de qualifier les équipements de maîtrise de dose. Il exprime en ordonnée, la variabilité globale à la parcelle et en abscisse, la variabilité à notion de risque sur des surfaces globales. En d'autres termes, il illustre en abscisse, la justesse et en ordonnée, la précision comme illustré par la figure ci-contre. De plus ce graphique reprend, par la taille des cercles représentant chaque point, la régularité globale de l'épandage déduite de la dispersion du diagramme en bâtons. Ce graphique a pour finalité de permettre à l'utilisateur de comparer les simulations successives entre elles, à la fois de manière relative et absolue. Les résultats de justesse et de variabilités restent affichés sur le graphique après simulations, afin de permettre des comparaisons. Seule une action sur le bouton "reset" efface l'ensemble des points

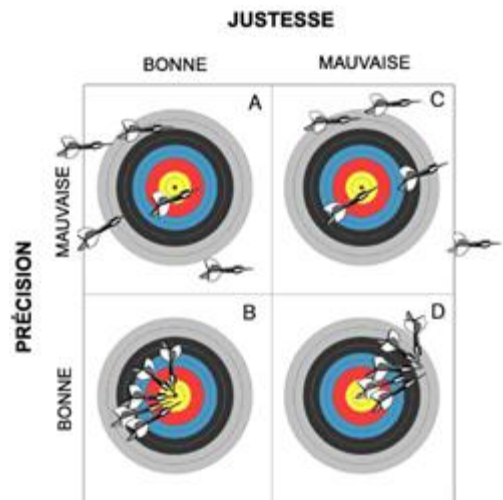


Figure 5 : Justesse / Précision  
 (illustration prise sur : <http://www.yorku.ca/psycho/fr...>)

La notion de justesse est très différente de la notion de précision en termes d'impact. En effet, les variabilités globales d'épandage à la parcelle seront a priori moins dommageables, en particulier grâce aux travaux du sol post-épandage qui tendent naturellement à réduire les aléas de cette distribution. Par contre, rien ne viendra nuancer les conséquences de défauts de justesse dans les doses apportées, qui engendreront ainsi de larges zones sur ou sous-dosées.

La figure suivante regroupe les visualisations graphiques explicitant les résultats synthétiques présentés ci-dessus. Elles illustrent chacune des étapes de la simulation. Le dernier graphique représente de manière simplifiée la répartition du produit au sol (calcul réalisé avec une empreinte minimale au sol ("pixel" de champs) d'une surface de 0,25m<sup>2</sup>).

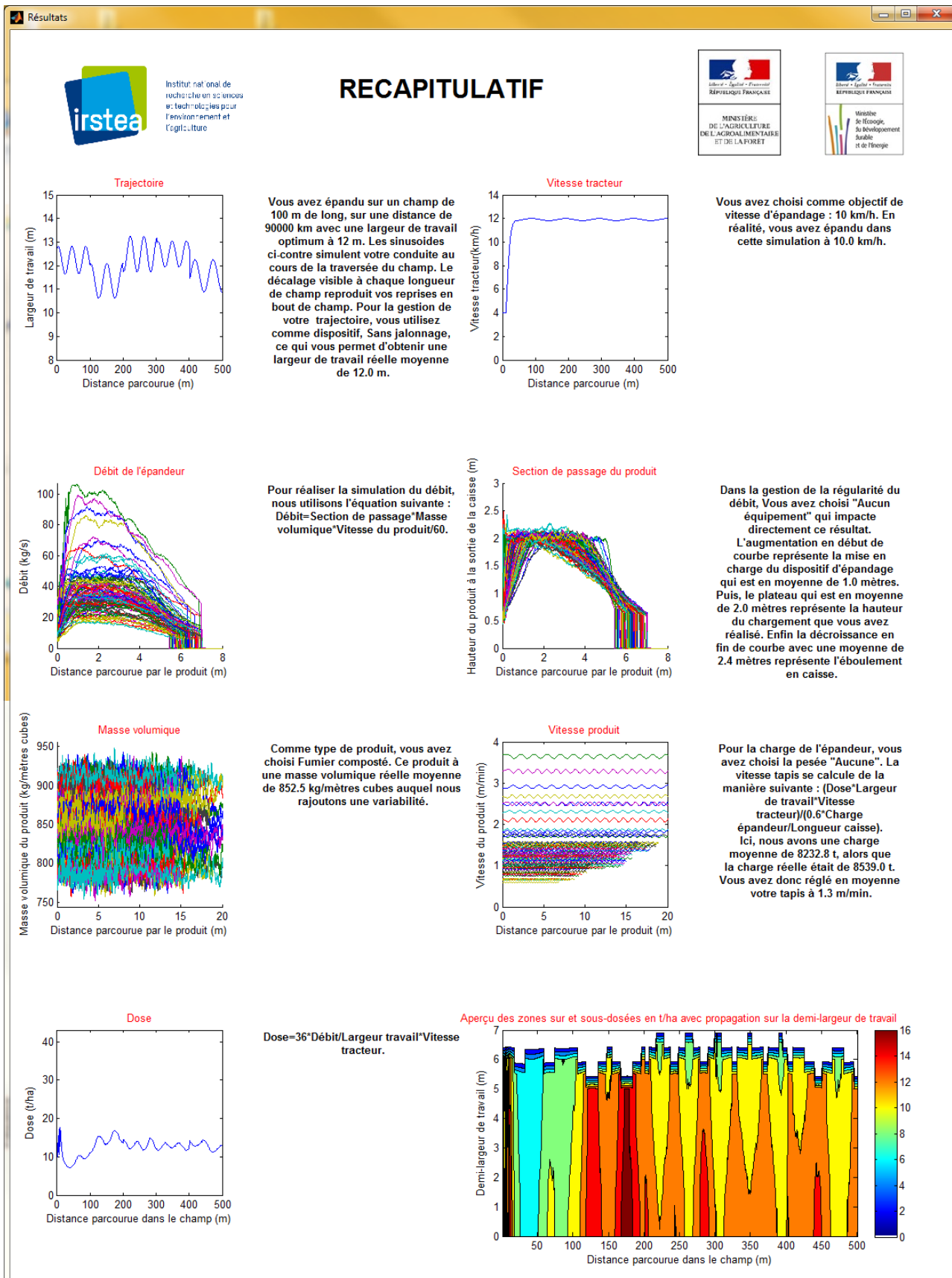


Figure 6 : Récapitulatif sans dispositif sélectionné

## II - 2. Résultats avec “Pesée statique : 6 capteurs”

La figure suivante illustre un résultat obtenu avec le simulateur dans une configuration ayant le dispositif “Pesée statique : 6 capteurs” sélectionné :

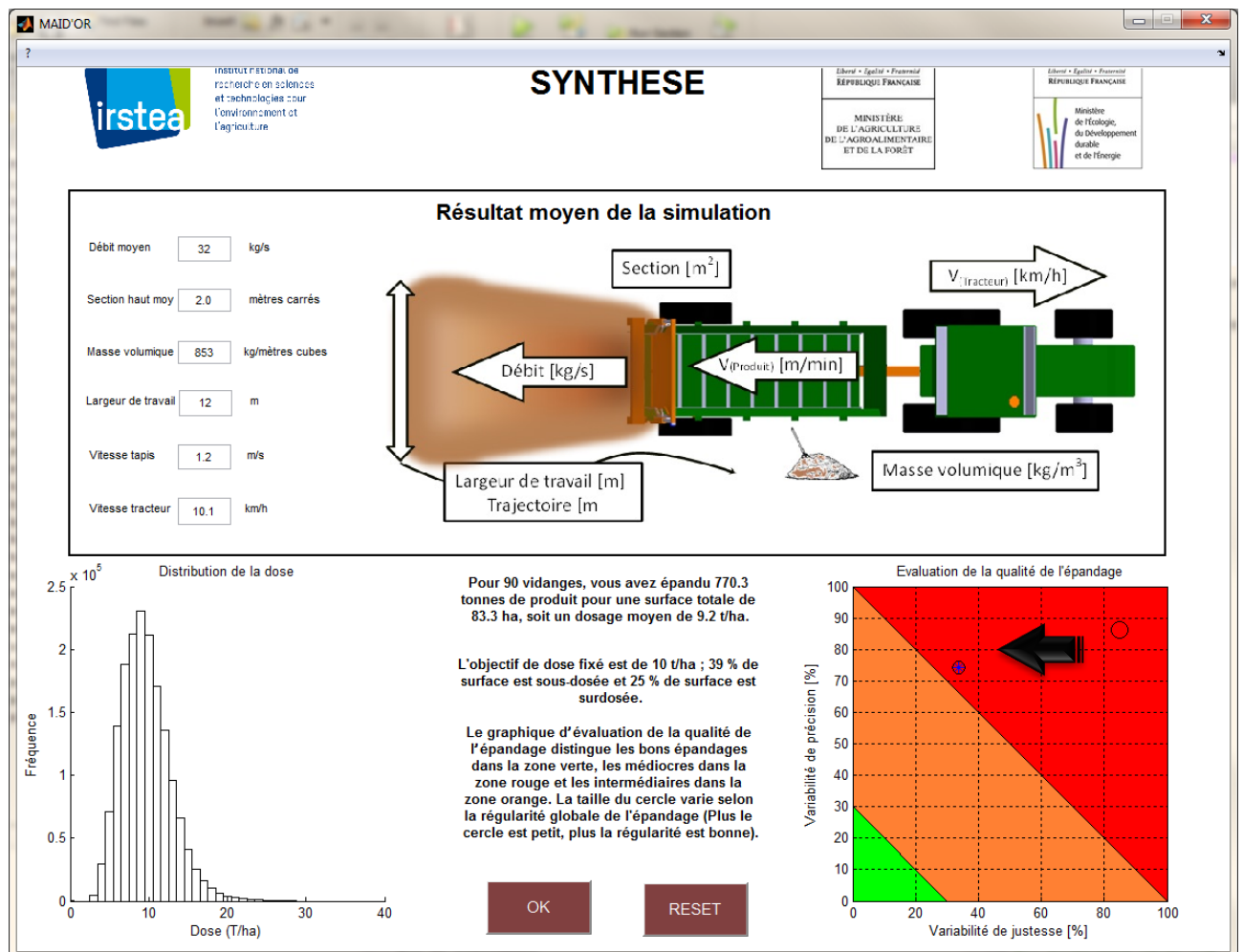


Figure 7 : Synthèse “Pesée statique : 6 capteurs”

Le graphique de la qualité de l'épandage montre qu'un dispositif de maîtrise de dose impacte plus ou moins la précision ou la justesse, et donc la variabilité globale à la parcelle ainsi que la variabilité à notion de risque sur des surfaces globales. Dans cet exemple, l'utilisation du dispositif de maîtrise de dose “Pesée statique : 6 capteurs” permet d'améliorer principalement la justesse de l'épandage. Concernant la régularité globale de l'épandage, cette dernière est également améliorée.

La figure suivante regroupe les graphiques qui explicitent les résultats obtenus dans la synthèse. Ces résultats montrent que le dispositif de maîtrise de dose “Pesée statique : 6 capteurs” impacte favorablement la dispersion du débit (cercle rouge). Cette dispersion est grandement diminuée car l'utilisateur de l'épandeur a une information efficace pour le réglage de la vitesse du tapis de l'épandeur (cercle vert).

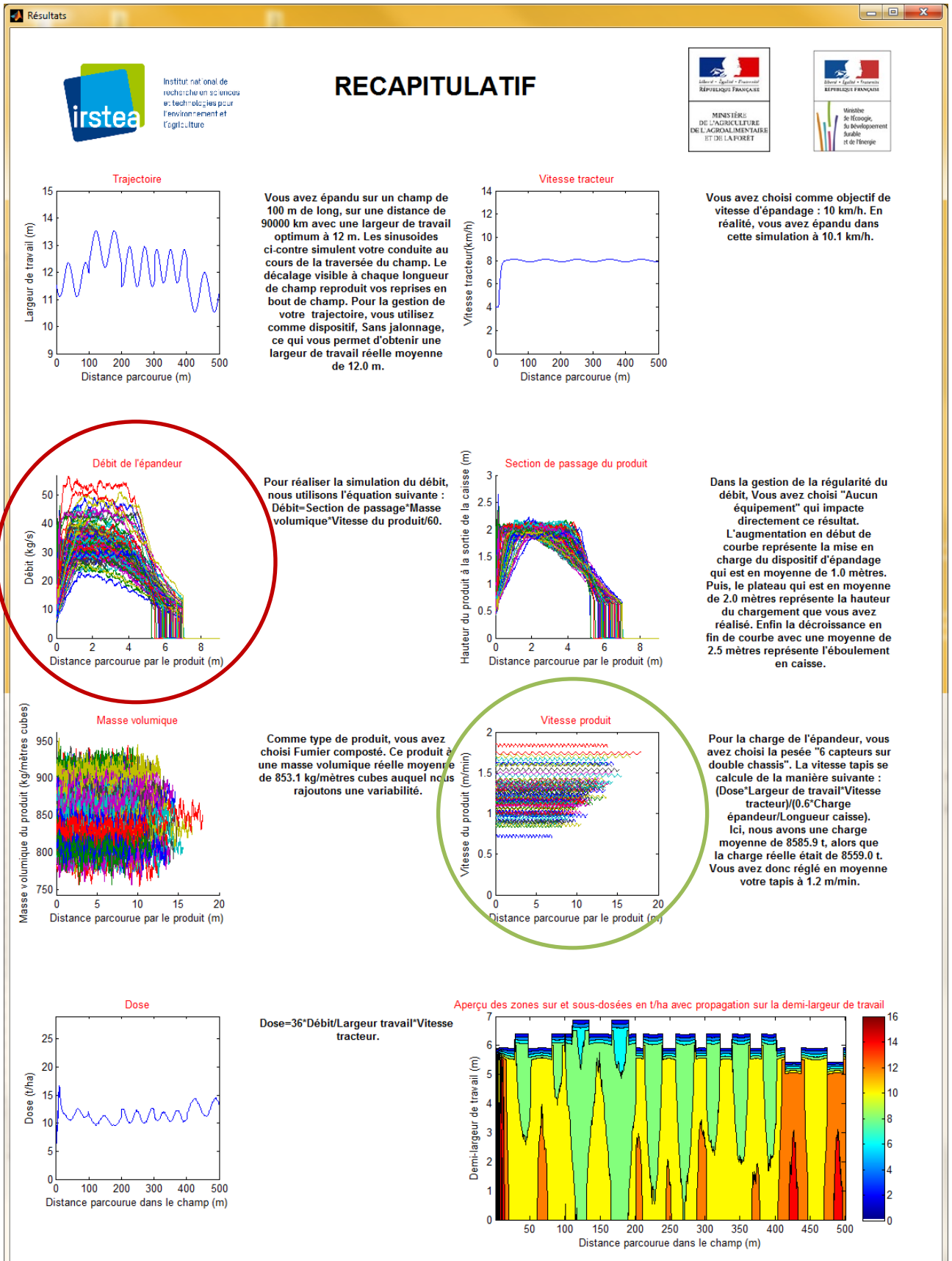


Figure 8 : Récapitulatif "Pesée statique : 6 capteurs"

## II - 3. Résultats avec “Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour”

La figure suivante illustre un résultat obtenu avec le simulateur dans une configuration ayant les dispositifs “Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour” sélectionnés :

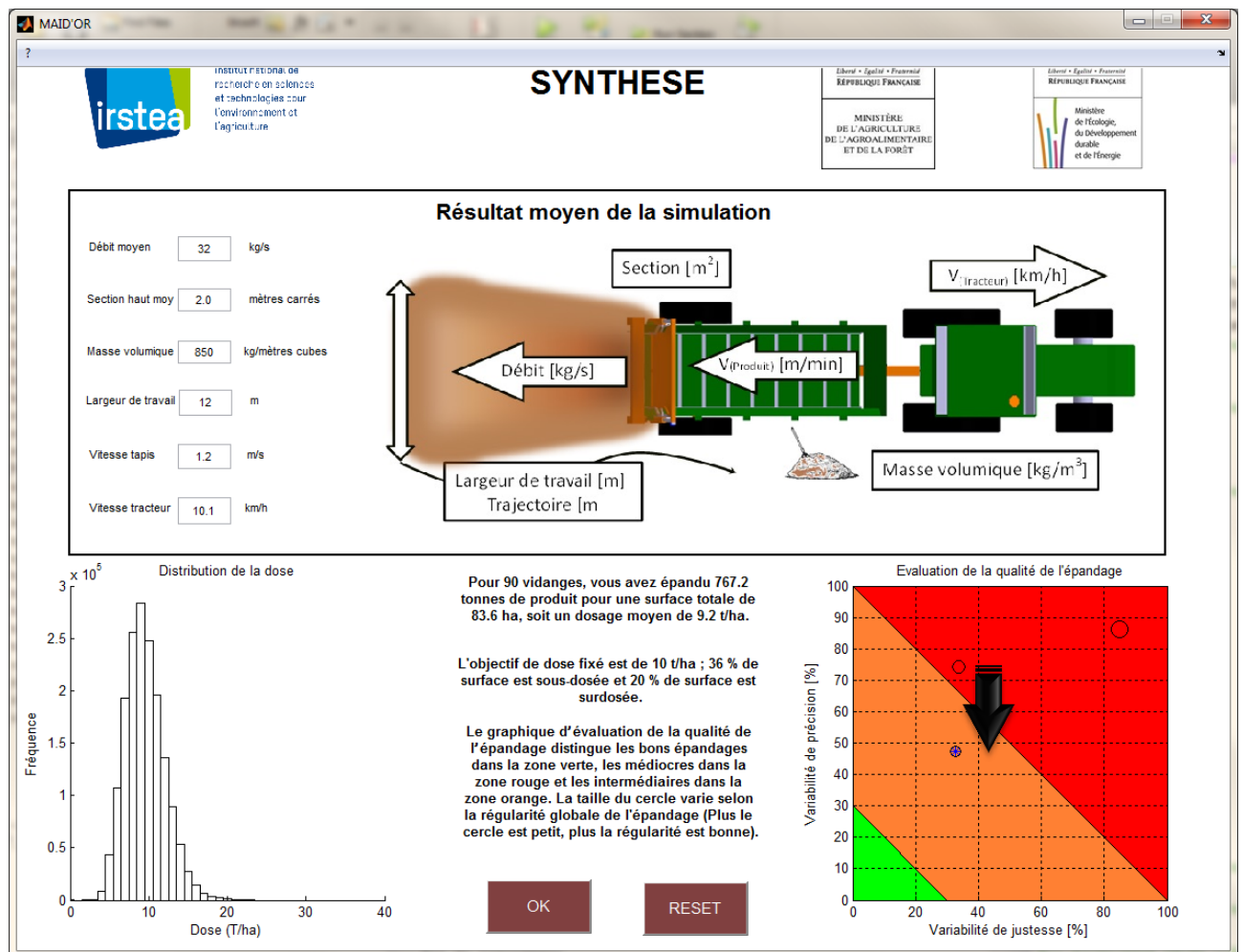


Figure 9 : Synthèse “Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour”

Le graphique de la qualité de l'épandage montre que l'ajout du dispositif de maîtrise de dose “Suivi de contour” à celui de maîtrise de dose “Pesée statique : 6 capteurs” permet d'améliorer la précision de l'épandage. Concernant la régularité globale de l'épandage, cette dernière est également améliorée.

La figure suivante regroupe les graphiques qui explicitent les résultats obtenus dans la synthèse. Ces résultats montrent que le dispositif de maîtrise de dose “Suivi de contour” impacte la forme de la courbe du débit (cercle rouge). Cette forme est grandement améliorée car ce dispositif permet en début de vidange de mettre en charge très rapidement le dispositif d'épandage et en fin de vidange de gérer l'éboulement en caisse du produit (cercle vert).

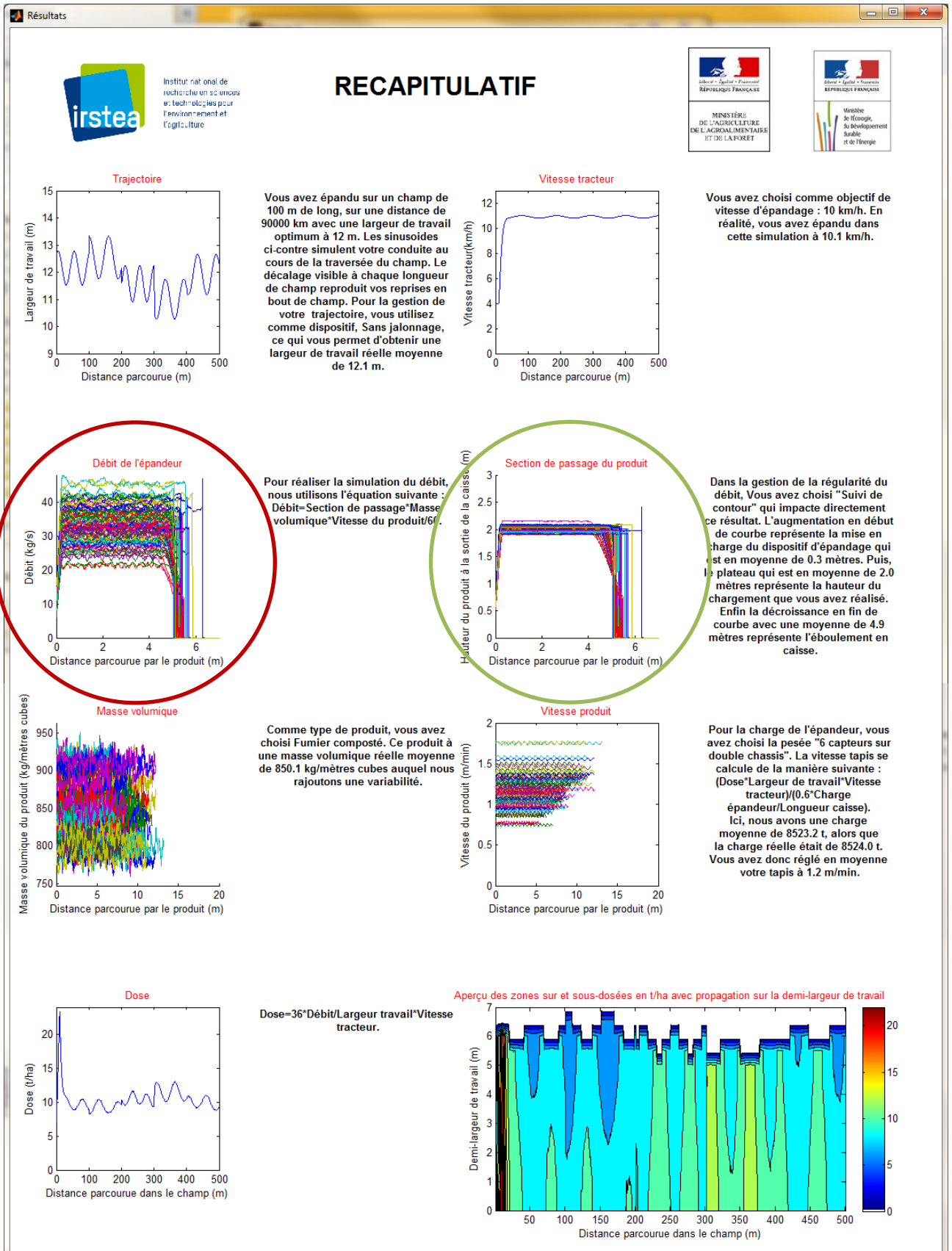


Figure 10 : Récapitulatif "Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour"

## II - 4. Résultats avec “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA”

La figure suivante illustre un résultat obtenu avec le simulateur dans une configuration ayant les dispositifs “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA” sélectionnés :

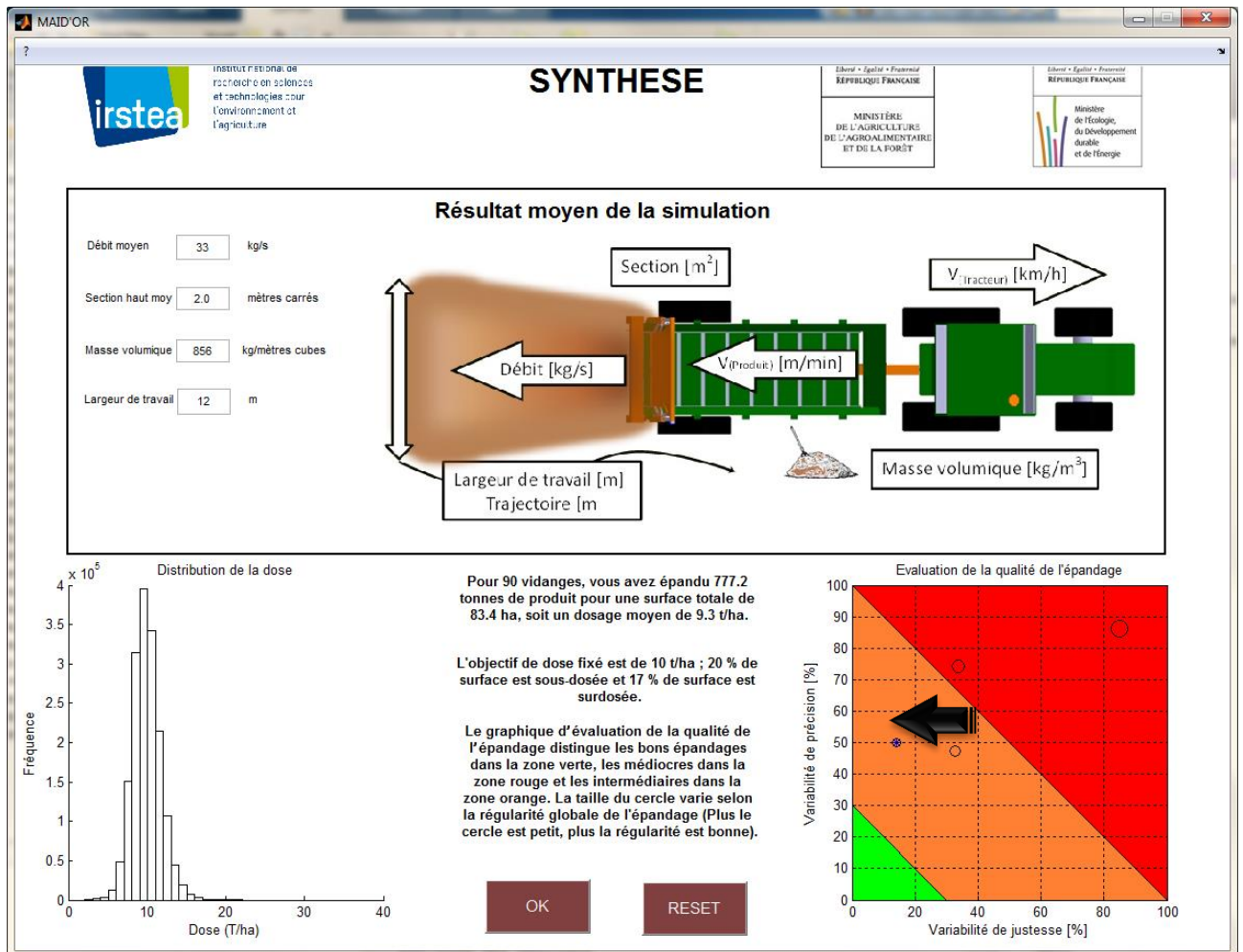


Figure 11 : Synthèse “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA”

Le graphique de la qualité de l'épandage montre que l'ajout du dispositif de maîtrise de dose “DPA” à celui de maîtrise de dose “Pesée statique : 6 capteurs et Suivi de contour” permet d'améliorer la justesse de l'épandage. Concernant la régularité globale de l'épandage, cette dernière est également améliorée.

La figure suivante regroupe les graphiques qui explicitent les résultats obtenus dans la synthèse. Ces résultats montrent que le dispositif de maîtrise de dose “DPA” a un impact sur l'amplitude des variations de vitesse du tracteur et de l'épandeur (cercle rouge). Ce dispositif joue également un rôle sur la dispersion des vitesses du tapis (cercle vert). En présence de DPA, la régulation du tapis est mieux contrôlée (capteur de retour d'information), ce qui entraîne une diminution des écarts de réglage des vitesses tapis au cours de l'épandage.

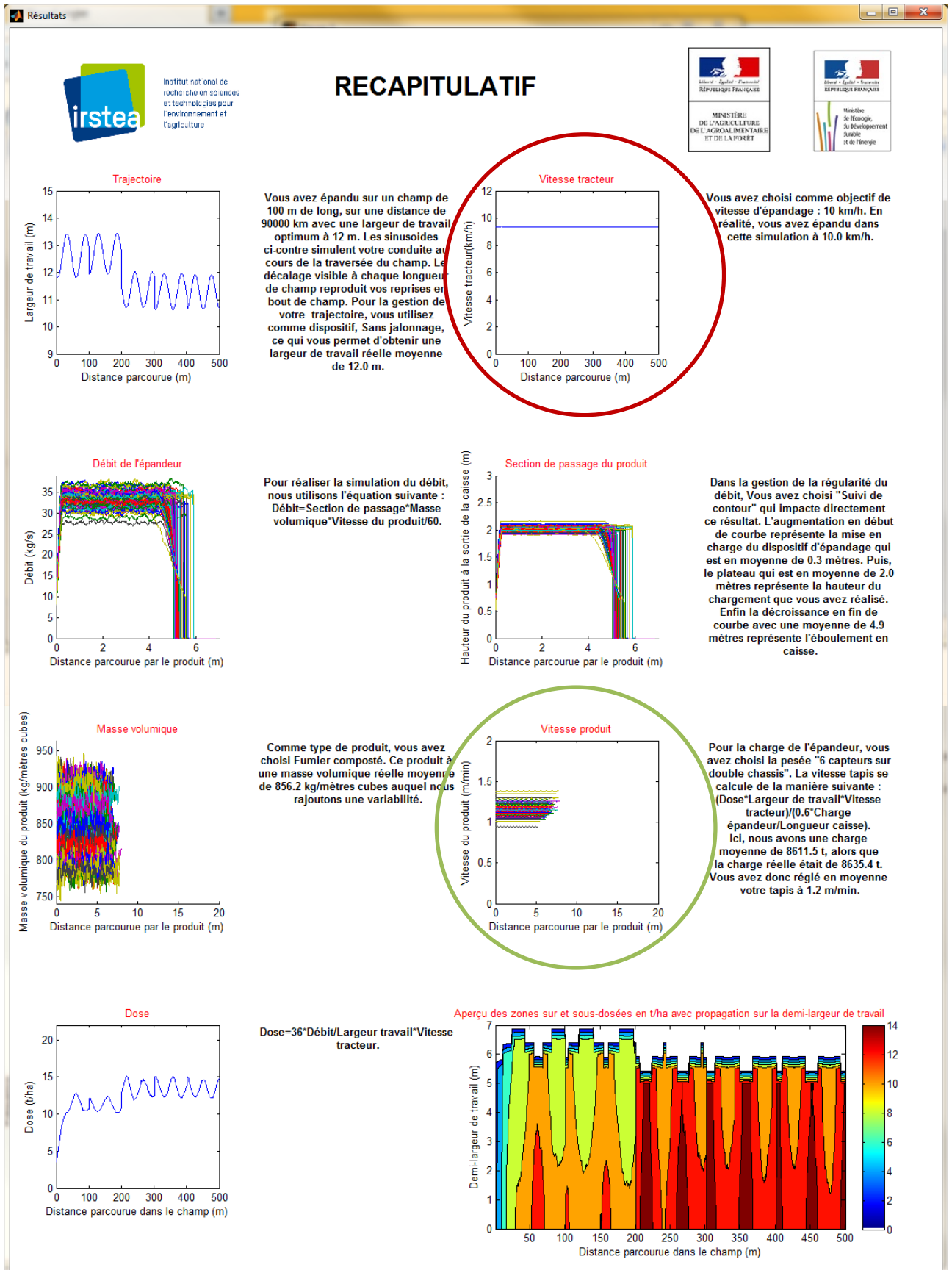


Figure 12 : Récapitulatif "Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA"



## II - 5. Résultats avec “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour, DPA et Guidage automatique”

La figure suivante illustre un résultat obtenu avec le simulateur dans une configuration ayant les dispositifs “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour, DPA et Guidage automatique” sélectionnés :

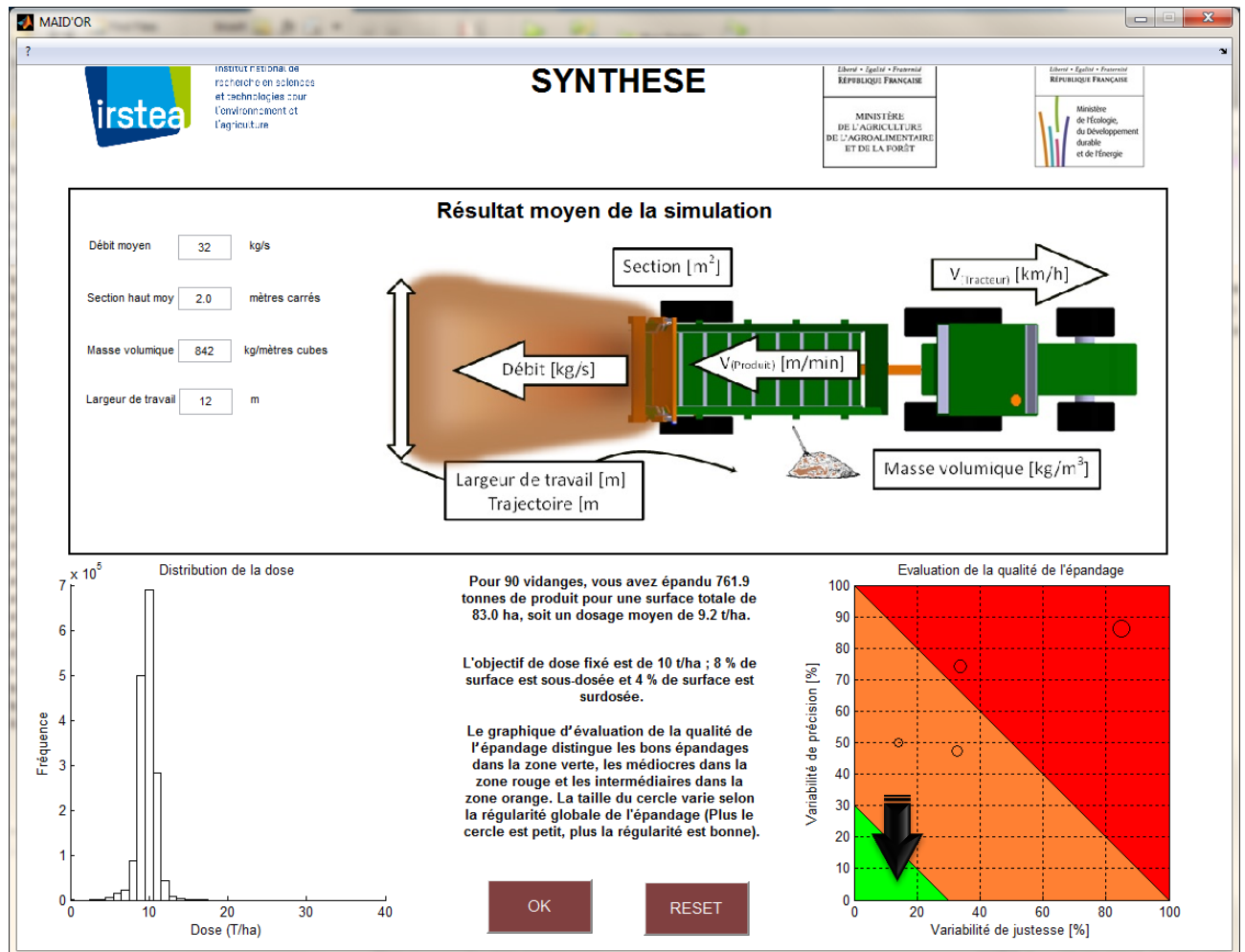


Figure 13 : Synthèse “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour, DPA et Guidage automatique”

Le graphique de la qualité de l'épandage montre que l'ajout du dispositif de maîtrise de dose “Guidage automatique” à celui de maîtrise de dose “Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour et DPA” permet d'améliorer la précision de l'épandage. Concernant la régularité globale de l'épandage, cette dernière est grandement améliorée.

La figure suivante regroupe les graphiques qui explicitent les résultats obtenus dans la synthèse. Ces résultats montrent que le dispositif de maîtrise de dose “ Guidage automatique ” impacte sur la dispersion de la trajectoire (cercle rouge) tant sur la trajectoire elle-même que sur la reprise en bout de champ (cercles verts du même graphique).

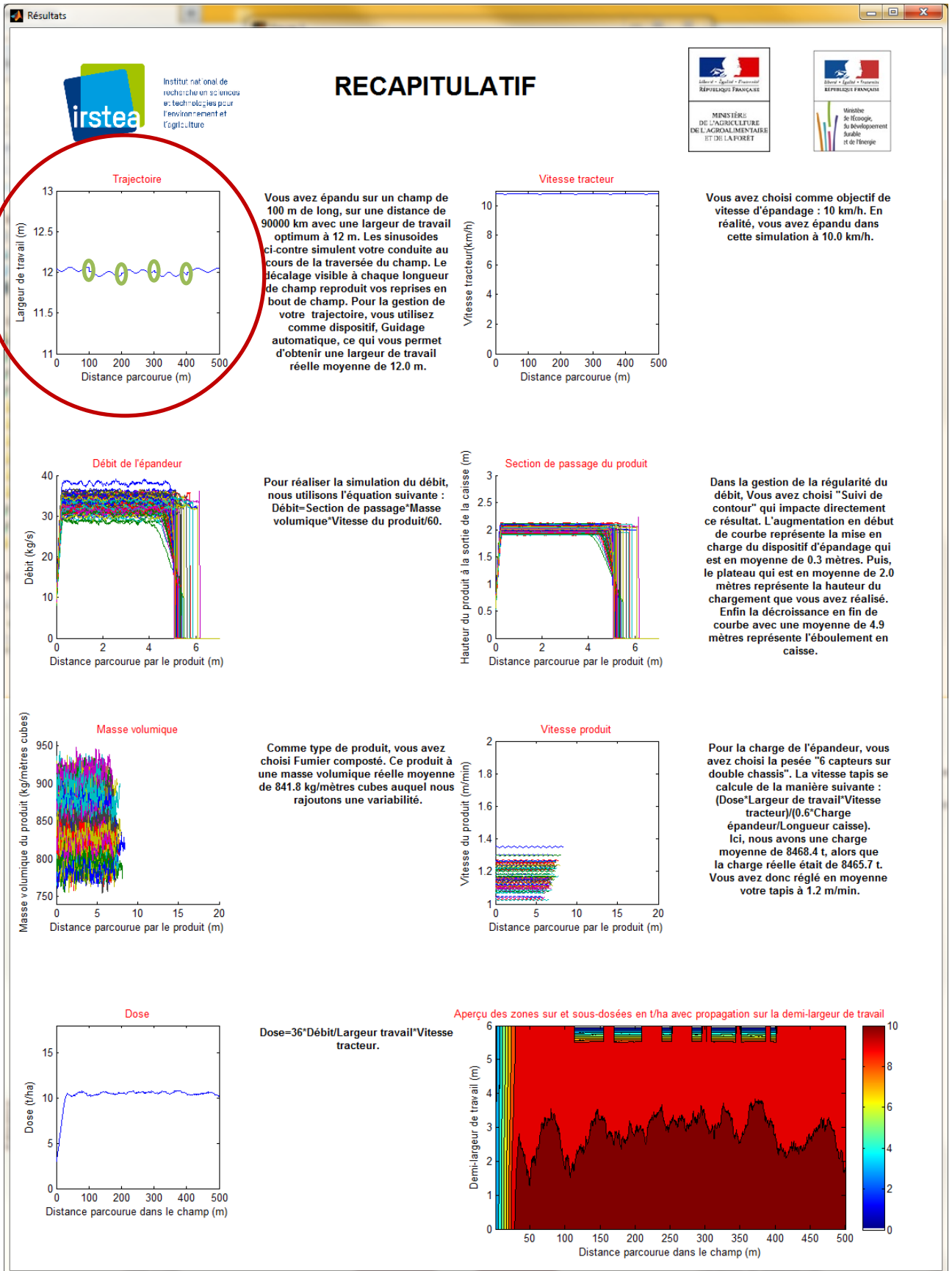


Figure 14 : Récapitulatif "Pesée statique : 6 capteurs, Suivi de contour, DPA et Guidage automatique "

## II - 6. Résultats et simulations

Pour chaque configuration analysée, le nombre de vidange simulé est de 90. Ce nombre permet de réaliser un calcul rapide permettant de mettre en évidence les phénomènes et d'en rendre compte avec des points clairement identifiés et différemment positionnés sur le graphique. Ces 90 simulations sont toutefois insuffisantes pour permettre le calcul des dispersions totales d'une configuration. Cette remarque est d'autant plus vraie lors des évaluations dans des configurations à fortes variabilités, comme le montre le graphique de la figure 15 obtenu par 10 répétitions pour chaque configuration tel que présenté dans ce paragraphe : moins les équipements de maîtrise de dose sont présents, plus il faut de répétitions pour correctement se rendre compte des différentes variabilités.

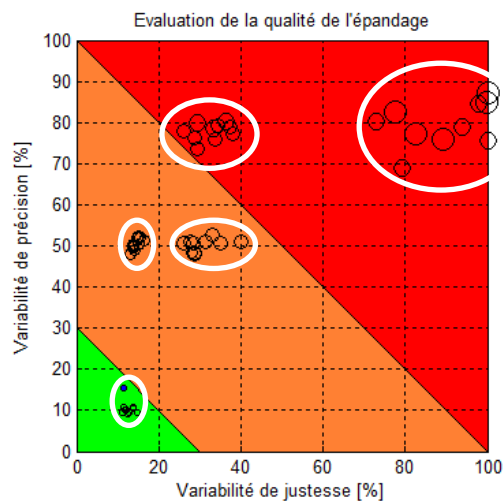


Figure 15 : 10 simulations pour chaque configuration

## CONCLUSION

---

Cet outil a été créé pour tenter de chiffrer les conséquences (très covariantes) de l'utilisation des équipements de maîtrise de dose, et permettre ainsi de renseigner, sensibiliser et guider objectivement les acheteurs potentiels et les conseillers techniques vers un ensemble d'équipements de maîtrise de dose adapté à leurs attentes.

Seul un ensemble d'équipements de maîtrise de dose permet de maîtriser la justesse et la précision d'un épandage.