



Evaluation d'un indicateur basé sur la prévision de la teneur en eau par le modèle TEC dans le cadre d'un outil d'aide à la décision pour le déclenchement de l'intervention de travail du sol.

Nicolas Brunet

► To cite this version:

Nicolas Brunet. Evaluation d'un indicateur basé sur la prévision de la teneur en eau par le modèle TEC dans le cadre d'un outil d'aide à la décision pour le déclenchement de l'intervention de travail du sol.. Sciences du Vivant [q-bio]. 2007. hal-02817252

HAL Id: hal-02817252

<https://hal.inrae.fr/hal-02817252>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ISARA-Lyon
23 rue Jean Baldassini
69364 Lyon CEDEX 07



INRA – UMR CSE
Domaine Saint Paul
AGROPARC
84000 Avignon



*Evaluation d'un indicateur basé sur la prévision de la teneur en eau
par le modèle TEC dans le cadre d'un outil d'aide à la décision pour
le déclenchement de l'intervention de travail du sol.*



Mémoire de Fin d'Etudes
Promotion 35 (2002-2007)
Date : 21 Septembre 2007
Enseignant responsable : Peigné Joséphine

Brunet Nicolas
Elève-ingénieur

Directeur de Mémoire : Chanzy André

1	Introduction	2
2	Cadre et contexte du sujet de mémoire.....	3
2.1	<i>Cadre et avancement du projet de recherche.....</i>	3
2.2	<i>Modèles et indicateurs : généralités</i>	6
2.3	<i>L'évaluation de l'indicateur.....</i>	7
3	Choix d'une méthode d'évaluation	10
3.1	<i>Quels types d'évaluations</i>	10
3.2	<i>Choix de méthode d'évaluation.....</i>	20
4	Méthode de l'étude	21
4.1	<i>Le modèle de transfert d'eau et modèle de décision :</i>	22
4.2	<i>La génération des données de référence simulées.</i>	25
4.3	<i>Méthode expérimentale</i>	28
5	Résultats	30
5.1	<i>Résultats des simulations</i>	30
5.2	<i>Résultat de l'expérimentation.</i>	40
5.3	<i>Résultats obtenus avec la méthode ROC.....</i>	43
6	Discussion et perspectives	48
6.1	<i>Discussion</i>	48
6.2	<i>Perspectives.</i>	49
7	Conclusion.....	50
	Table des illustrations.....	51
	Bibliographie	52

1 Introduction

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de recherches menées par l'unité mixte de recherche Climat, Sol et Environnement (CSE) de l'INRA d'Avignon, recherches portant sur les problèmes de tassement de sol liés aux opérations culturales effectuées dans de mauvaises conditions hydriques du sol. Depuis quelques années, l'unité est engagée dans un projet européen de lutte contre la dégradation physique des sols. Il s'agit du plan dégradation du sol par le tassement (DST), qui s'inscrit dans un projet plus global de gestion durable des sols (GESSOL), répondant à une attente européenne de préservation des sols. Dans le cadre de ce projet, leur principal objectif est de créer un modèle de transfert hydrique des sols afin d'en faire un outil d'aide à la décision (OAD) qui permettrait, aux agriculteurs, de prévoir les jours où le travail du sol est possible sans risque de tassement (jours disponibles). En effet les fortes teneurs en eau favorisent le tassement de sol, il s'agit donc de permettre aux agriculteurs d'éviter ce phénomène en mettant à leur disposition un outil prévisionnel.

L'objectif de ce mémoire est de donc de valider l'utilisation du modèle développé par l'unité CSE comme outils d'aide à la décision auprès des agriculteurs. La principale problématique pour atteindre cet objectif est de trouver des indicateurs fiables qui pourraient être utilisés comme OAD. Les indicateurs doivent permettre de diagnostiquer une large gamme de sols et de climats afin qu'ils soient applicables à grande échelle. Il est également nécessaire de diagnostiquer les performances sur plusieurs gammes d'humidité car les seuils d'humidité limites d'entrée sur les parcelles ne sont pas encore fixés. On a également besoin d'évaluer les indicateurs sur plusieurs profondeurs de sol car on ne sait pas encore si les seuils seront fixés pour des couches superficielles ou plus profondes.

Ainsi, dans une première partie posant le contexte et les objectifs détaillés du travail réalisé, nous verrons comment passer d'un modèle à un indicateur utilisable comme OAD. Dans un second temps, un état des connaissances nous permettra de choisir la méthode à retenir afin d'évaluer l'OAD. Puis l'étude sera effectuée sur plusieurs sols, climats, seuils et profondeur de sol. Différentes perspectives de développement seront proposées et on conclura sur les résultats obtenus.

2 Cadre et contexte du sujet de mémoire

2.1 Cadre et avancement du projet de recherche

2.1.1 Présentation générale du projet DST

La dégradation du milieu sol est une problématique de plus en plus prise en compte au sein des politiques environnementales. Le sol assure, en effet, des fonctions environnementales multiples et indispensables au bon fonctionnement des éco et agro systèmes. La prise en compte de sa nature (considérée comme non renouvelable), de sa multiplicité fonctionnelle et des dégradations qu'il subit, a abouti à l'émergence de politiques de recherche.

Or, le tassement des sols est considéré comme un processus majeur de dégradation physique des sols en Europe (communication sur la protection des sols, UE, 2002). Des stratégies de recherche/développement sur le tassement ont donc été mises en place tant au niveau national qu'europpéen.

En mai 2001, la Commission européenne avait déjà souligné que l'érosion et la baisse de la fertilité des sols constituaient une menace majeure pour le développement durable en réduisant la viabilité des terres agricoles.

Un an plus tard, une décision du Parlement européen et du Conseil (n° 1600/2002/CE) établit le sixième programme d'action communautaire pour l'environnement. L'un des objectifs principaux de ce nouveau programme est de protéger les ressources naturelles et de promouvoir l'utilisation durable des sols.

Ce programme d'action communautaire pour l'environnement prévoit une stratégie spécifique à la protection des sols. Dans sa communication de 2002, intitulée «Vers une stratégie thématique pour la protection des sols», la Commission a défini les huit principales menaces qui pèsent sur les sols dans l'Union européenne : l'érosion, la diminution des teneurs en matières organiques, la contamination, la salinisation, le phénomène de tassement du sol, l'appauvrissement de la biodiversité des sols, l'imperméabilisation des sols, les inondations et les glissements de terrain.

Afin de répondre à la directive cadre, européenne, sur la protection des sols la France a initié un programme de gestion durable des sols (GESSOL) (Ministère de l'écologie et du développement durable, agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2006). L'objectif de ce programme est de proposer des outils de gestion, des indicateurs pour une meilleure maîtrise et connaissance de l'évolution des sols, afin de préserver et d'exploiter au mieux ses fonctions écologiques.

La thématique dégradation physique des sols a donné lieu à un plan intitulé dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement (DST) (Guy Richard, 2006). Celui-ci ambitionne d'étudier les aspects impact/prévision/prévention/suivi/cartographie de la dégradation des sols par le tassement. Il a pour objectif de prévenir les pertes de fonctions agronomiques ou environnementales des sols par la mobilisation de l'ensemble des connaissances actuelles et le développement de nouvelles voies de recherche pour :

- quantifier les impacts du tassement sur les fonctions environnementales du sol ;
- quantifier les conséquences économiques des tassements, évaluer l'impact d'éventuelles mesures de protection des sols ;
- identifier les conditions, actuelles et à venir, de l'utilisation des sols conduisant à des problèmes de tassement des sols ;
- établir une cartographie des risques de tassement des sols français.

Ce projet est essentiellement basé sur l'utilisation des modèles de tassement des sols et de fonctionnement du système sol/plante. Ces modèles doivent permettre d'étudier l'occurrence du tassement et ses impacts sur les cultures et l'environnement. La synthèse des résultats acquis durant le projet doit aboutir à une cartographie des zones sensibles au tassement en France. Ce projet a débuté en juin 2005.

2.1.2 Le travail à effectuer au sein du projet DST

Le travail du sol et le passage des engins lourds sont des opérations délicates car, effectuées dans de mauvaises conditions, ils peuvent mener à une dégradation de la structure des sols. L'état hydrique est un facteur ayant une forte influence sur les propriétés mécaniques, il est à prendre en considération lors des interventions. En effet, il constitue une limite importante de la résistance du sol au trafic des engins (Arvidsson et Al, 2003). La teneur en eau des sols est donc un facteur important de risque de compaction. Des études illustrent d'ailleurs la relation étroite entre taux d'humidité et coefficient de compaction (Canillas et Salokhe, 2002 ; cf. Figure 1)

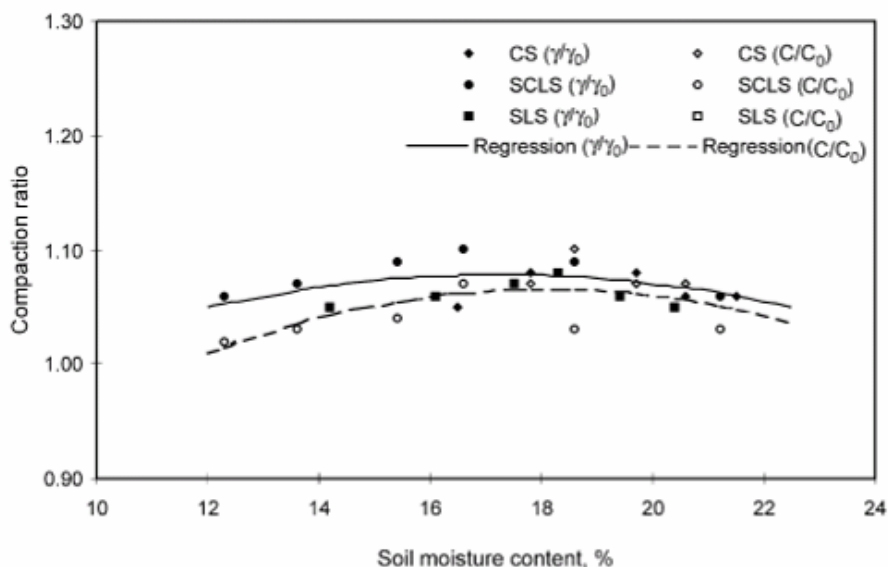


Figure 1 Variation du ratio de compaction en fonction de l'humidité, pour différents sols.

Soit (γ/γ_0) (CS-clay soil; SCLS-Silty clay loam soil; SLS-silty loam soil), densités de sol et coefficients de pénétration (C/C_0). D'après *Canillas, Salokhe (2002)*

Le mémoire s'inscrit dans le volet prévention du tassement du projet DST. Dans le cadre de l'objectif de prévention, l'INRA tente de mettre à disposition des agriculteurs des outils. Ils ont pour objectif permettre aux agriculteurs de raisonner les dates d'intervention du travail du sol, et donc de limiter les dégradations dues à ce type d'opération. Le principe repose sur une prévision des jours favorables (ou jours disponibles) au travail du sol. Celle-ci s'effectue à l'aide d'un modèle de transfert hydrique qui renseigne sur les teneurs en eau du sol. Cette teneur en eau est comparée à des valeurs seuils permettant distinguer les situations défavorables des situations favorables. Ces valeurs seuils sont établies pour les différents types de sols dans le cadre d'un autre volet du projet.

Un modèle de transfert d'énergie et de chaleur (TEC) a été développé et validé par l'INRA. Il s'agit donc de valoriser ce modèle grâce aux prévisions de la teneur en eau du sol qu'il fournit. En 2006, un travail de thèse a été achevé (Mumen, 2006), qui a permis d'identifier les paramètres les plus sensibles du modèle et de proposer des techniques permettant leur estimation. Ceci a donné suite à un stage pendant lequel une technique permettant d'améliorer la précision du modèle à l'aide de relevés hydriques a été implémentée au modèle (Nguyen Van, 2006).

La problématique actuelle est de connaître le potentiel de ce modèle dans le cadre de son utilisation comme outil d'aide à la décision. Ce mémoire traitera de l'évaluation de ce potentiel. L'évaluation des modèles comme support d'aide à la décision reste actuellement un des problèmes méthodologiques majeurs à leur utilisation (Meynard et Al, 2002).

2.2 Modèles et indicateurs : généralités

2.2.1 Du modèle à l'indicateur

Les modèles sont des outils mathématiques qui permettent de simuler la réalité à partir d'équations. Les processus étudiés y sont reproduits, ainsi ces outils permettent de prévoir certains aspects inhérents au phénomène étudié et que l'on souhaite caractériser. Ici, en ce qui concerne le modèle TEC, la teneur en eau est la variable de sortie du modèle. Cette variable est confrontée à une valeur de référence afin d'obtenir une interprétation sur un phénomène. On peut donc qualifier cet ensemble (variable + seuil renseignant sur un phénomène) d'indicateur. En effet « l'indicateur est une variable à laquelle on a donné un sens » (Girardin et Al, 2005).

2.2.2 Notion et caractéristiques des indicateurs

Notion d'indicateur.

Les indicateurs sont largement employés dans divers domaines. Les indicateurs sont utiles au progrès et à la surveillance du système médical, mais aussi au suivi des politiques environnementales ou de développement durable, etc. Plus généralement, ils sont utilisés dans tous les domaines où l'on tente d'effectuer le suivi d'un phénomène complexe et difficilement mesurable directement.

Dans cette partie nous allons appréhender le concept d'indicateur. Pour cela nous nous appuierons sur des définitions et nous illustrons la diversité des types d'indicateurs existants.

D'une manière générale, on peut définir l'indicateur comme un descripteur qui renseigne sur un phénomène complexe difficilement mesurable directement. Ce descripteur est un élément facilitant la décision par son aspect synthétique et global vis-à-vis de l'objectif qui lui est associé.

Selon l'Environmental Protection Agency (EPA, 1972), il s'agit « ...d'une statistique ou une mesure qui facilite l'interprétation et l'évaluation de l'état d'un élément du monde ou de la société par rapport à une norme, un état de référence ou un but. ». L'importance de la portée de l'indicateur vis-à-vis d'un objectif est reprise par l'Organisation de coopération et de développement économiques : (OCDE, 1993) l'indicateur est « ...une variable ou une valeur calculée à partir de variables, donnant les indications sur ou décrivant l'état d'un phénomène, de l'environnement ou d'une zone géographique, d'une portée supérieure aux informations directement liées à la valeur de la variable ».

Les principales caractéristiques des indicateurs

Quelques critères, décrits ci-dessous, permettent de mieux juger de l'efficacité d'un indicateur. Ils caractérisent la capacité d'un indicateur à remplir son rôle.

Le seuil de décision de l'indicateur

Valeur qui définit un seuil de classement entre les cas positifs et négatifs selon que le résultat de l'indicateur soit respectivement supérieur ou inférieur à cette valeur.

La sensibilité et spécificité

Un indicateur doit être à la fois sensible et spécifique. La sensibilité lui permet de varier lorsqu'il y a des variations pour le phénomène observé. Ceci confère à l'indicateur l'aptitude à détecter les changements. La spécificité permet à l'indicateur de rester stable lorsque il n'y a pas de variation et donc de ne pas détecter un phénomène inexistant.

La fiabilité

L'indicateur doit être fiable, c'est-à-dire qu'il doit à la fois fournir une mesure précise de ce qu'il représente mais également être reproductible. Ainsi il doit produire le même résultat pour des conditions identiques lorsque la mesure est répétée à plusieurs intervalles.

Ces quelques notions sur les indicateurs éclairent l'intérêt d'assimiler notre outil à un indicateur. En effet, ceci va nous permettre de caractériser efficacement les critères importants à la mise en place de l'outil, ce qui correspond tout à fait à la définition d'un indicateur.

2.3 L'évaluation de l'indicateur

2.3.1 L'évaluation, une étape du processus de validation

L'analyse de risque à mener prend place au sein du processus de validation d'un indicateur. La validation de l'indicateur est la procédure qui permet de déterminer dans quelle mesure il reflète ce qu'il est censé mesurer avec suffisamment de précision pour amener à une bonne décision. Il s'agit de vérifier que l'indicateur permet de fournir les repères nécessaires à l'appréciation de l'état ou de l'évolution du phénomène pour lequel il a été choisi (ANAES).

Pour valider un indicateur on distingue classiquement trois ou quatre phases (Girardin et Al, 1999,2005 ; Bockstaller & Girardin, 2002 ; Kurtz et Al, 2001). Ces phases représentent généralement :

- la validation de la construction de l'indicateur. Cette phase consiste à juger de la pertinence du ou des variables choisies pour constituer l'indicateur. Cette validation émerge d'un travail bibliographique et de critiques scientifiques apportées lors de publications dans les revues scientifiques. Ce travail a été réalisé par l'équipe du projet DST.
- la validation des sorties d'indicateurs. On tente de juger de la performance ou de la précision de l'indicateur. Les valeurs de sortie de l'indicateur doivent être comparées à des données, des estimations ou par dire d'experts.
- la validation par l'usage. Elle consiste à mettre en avant les défauts et les avantages de la méthode en conditions réelles. Elle se base sur l'observation des utilisateurs, des résultats qu'ils obtiennent, etc.

Le mémoire prend place au sein du processus de validation de l'indicateur. La phase considérée est la validation de sorties. Il s'agira, donc, d'évaluer la fiabilité des sorties de l'indicateur par rapport à l'objectif d'aide à la décision

2.3.2 L'évaluation de l'erreur décisionnelle

Le travail demandé est d'évaluer le bon fonctionnement de l'outil. Dans le cadre de la validation de sorties on peut considérer trois types de risques à évaluer. Parmi ceux-là nous allons préciser celui qui sera l'objet de cette étude. Ces trois types de risques sont illustrés dans la figure 2.

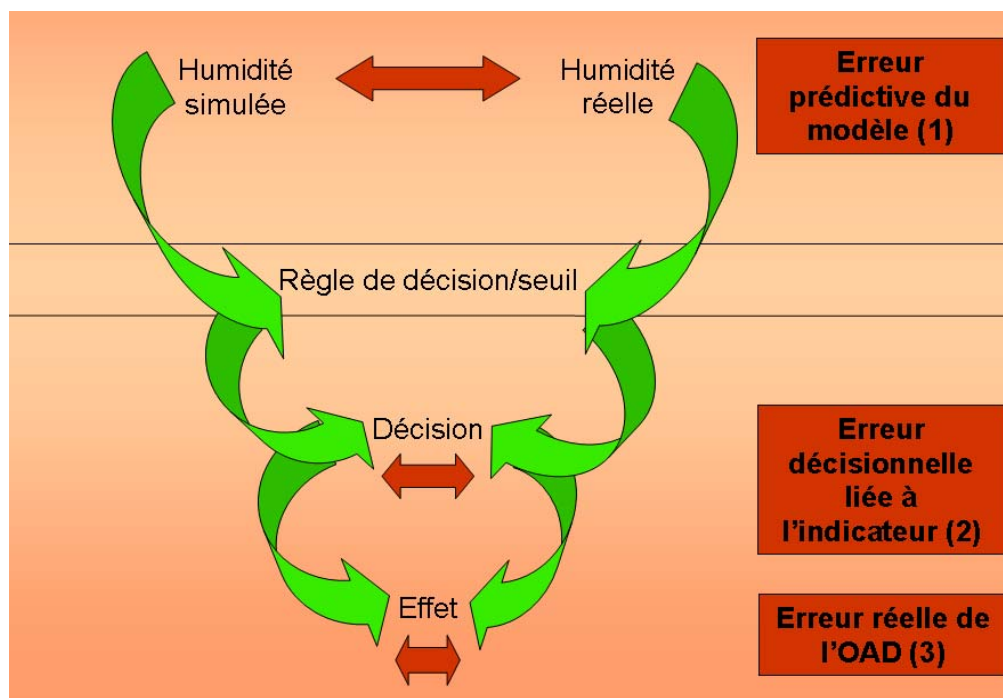


Figure 2 Schématisation des niveaux de risques liés à l'indicateur teneur en eau dans le contexte de l'aide à la décision.

Les risques liés aux sorties de l'indicateur sont :

- Risque (1) : l'incertitude de la prévision effectuée par le modèle par rapport à la réalité
- Risque (2) l'incertitude de la prévision par rapport à un (des) seuil(s) de décision
- Risque (3) l'incertitude d'adéquation entre la décision et la réponse observée

Le risque (1) a été évalué, en fonction de différents types d'informations disponibles sur le sol, lors d'un travail de thèse mené par Mumen Mohamed (Mumen, 2006) et d'un mémoire de Nguyen Van Marie-Laure (Nguyen Van, 2006).

Le risque (2) doit être évalué lors de la réalisation de ce mémoire de fin d'étude. Il s'agira d'étudier l'incertitude de l'indicateur lorsqu'il est confronté à des seuils de décision. Le but de cette étude est de confronter les décisions prises à l'aide d'humidités simulées par rapport à celles prises à l'aide d'humidités réelles.

L'incertitude (3) ne sera pas abordée. Les moyens techniques à mettre en place sont très importants (au vu de la difficulté d'estimer les profils de densité du sol).

Les trois types de risque ne sont généralement pas différenciés dans la littérature disponible sur l'évaluation des indicateurs (Girardin et Al, 2005 ; Kirchner, 1996 ; Bockstaller et Al, 2003 ; Jackson et Al, 2000). C'est pourquoi nous passerons en revue, dans le chapitre suivant, les méthodes d'évaluation disponibles, en précisant leurs avantages, inconvénients ainsi que le type de situation dans lesquelles elles peuvent être utilisées. Les méthodes d'évaluation portant sur les risques de type 2 et 3 restent peu présentes dans le domaine agronomique (Girardin et Al, 2005 ; Kirchner, 1996 ; Bockstaller et Al, 2003 ; Jackson et Al, 2000), qui se contente souvent d'analyser le risque de type 1 « If the indicator results from the transformation of models outputs, its validity will logically depend on the validity of model » (Bockstaller et Girardin, 2002). C'est pourquoi dans cette partie, un certain nombre de sources proviennent du domaine médical (Sullivan Pepe, 2003 ; Irène Buvat, 2006, Hand DJ, 1992), où ce type d'analyse est très présent.

3 Choix d'une méthode d'évaluation

3.1 Quels types d'évaluations

Dans cette partie il s'agira donc de présenter et de justifier la méthode retenue afin d'évaluer les sorties d'indicateurs dans le cadre d'un outil d'aide à la décision, ce que nous avons défini comme la performance.

Toutes les méthodes d'évaluation sont basées sur la comparaison des données simulées avec des données de référence.

Plusieurs types d'évaluations sont possibles, répondant à plusieurs types de question.

Tout d'abord, on peut distinguer deux grands sujet d'évaluations : celui portant sur l'indicateur en lui-même (c'est-à-dire sa précision – risque 1) et celui portant sur ses conséquences lorsqu'il est associé à un seuil de décision (c'est-à-dire sa performance – risque 2 ou 3)

Ensuite, on peut distinguer deux formes d'évaluations. L'une de type visuelle, qui nous apporte une idée des précisions sans quantification. L'autre de forme arithmétique qui permet d'objectiver les résultats observés.

3.1.1 L'évaluation de la précision.

Cette partie répertorie les méthodes d'évaluation d'indicateurs agronomiques, environnementaux et agro-environnementaux présentés dans la littérature. Nous allons donc parcourir les différentes méthodes utilisées classiquement dans le cadre de travail considéré.

Certains auteurs effectuent l'étape de validation des sorties de leur indicateur par une simple procédure visuelle, comparant les simulations aux données mesurées (Bockstaller et Girardin, 2003). Ce type de validation est assez contesté, des critères statistiques y sont donc souvent associés. L'élaboration de graphiques confrontant ces données permet tout de même d'avoir une appréciation rapide de la précision de l'indicateur.

Les critères statistiques et les représentations graphiques correspondent aux techniques employées pour l'appréciation des modèles.

- Les représentations graphiques.

- Les représentations graphiques modèle prédiction versus données observées

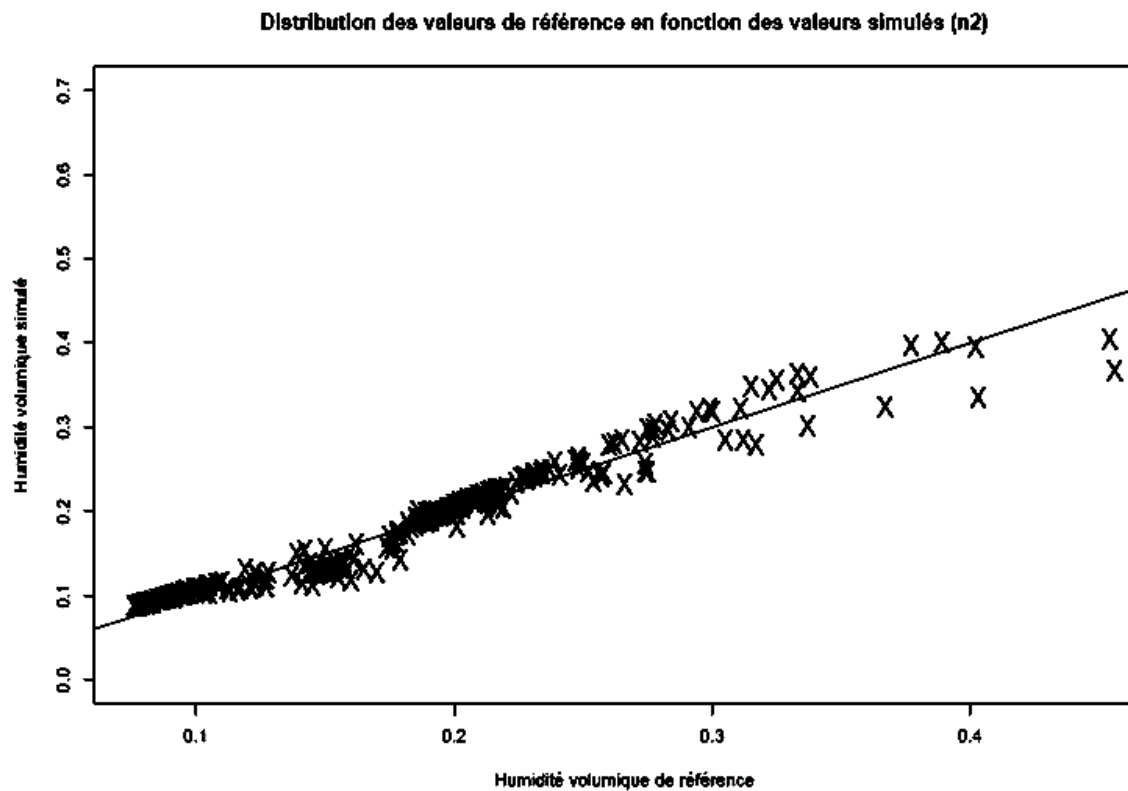


Figure 3 Exemple d'un graphique model prédiction versus données observées

Pour ce type de graphique (cf. figure 3), un des axes du référentiel représente les valeurs observées alors que l'autre représente les valeurs prévisionnelles. Si les valeurs observées et mesurées correspondent on observe alors une ligne de type 1 :1. L'avantage de ce type de graphique est de mettre facilement en évidence la concordance entre mesures et prévisions.

- Les représentations graphiques avec données mesurées et prédites versus temps

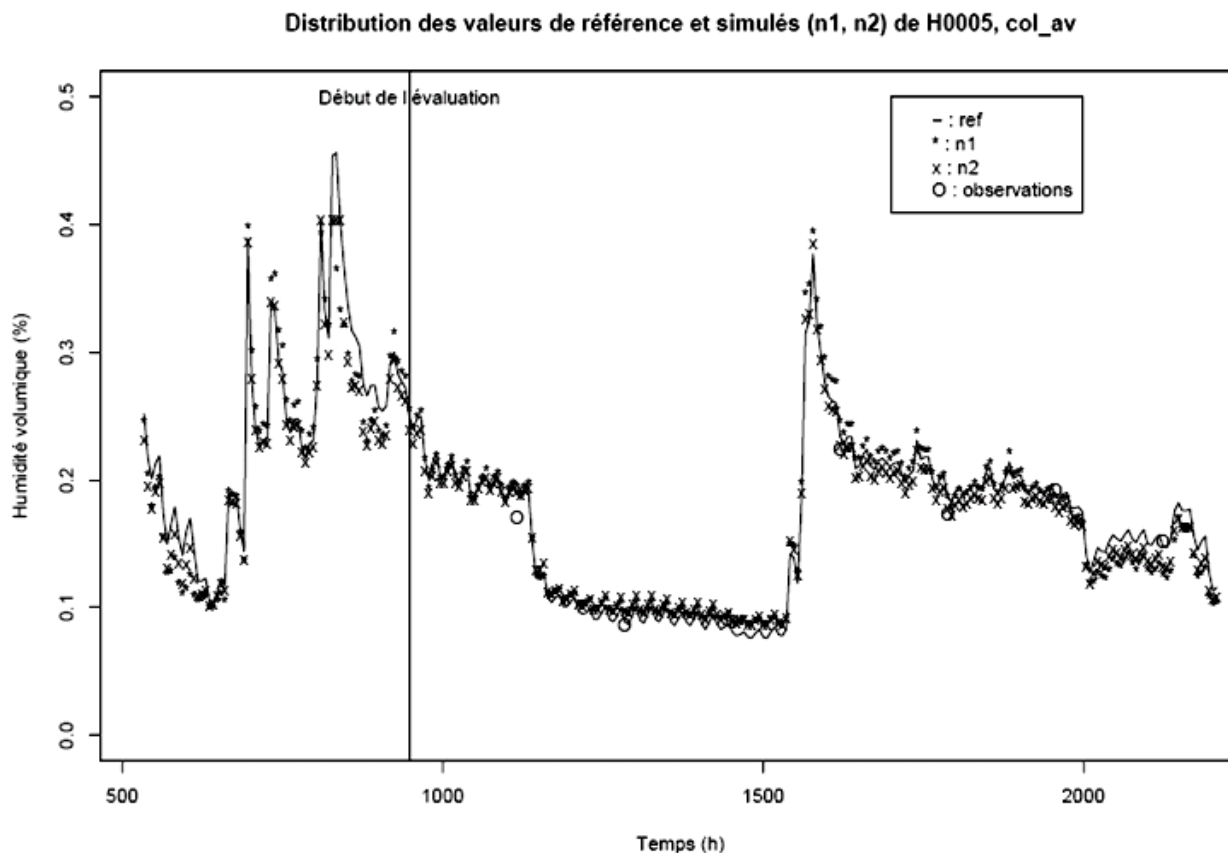


Figure 4 Exemple de graphique avec données mesurées et prédites versus temps

Dans certains cas lorsque un phénomène ou une fonction évolue dans le temps il est commun d'utiliser un graphique de ce type (cf figure 4). Il faut alors comparer chaque couple de valeurs séparément. Une rapide visualisation de ce graphique permet d'indiquer si le modèle peut être raisonnablement supposé en accord avec le phénomène (Wallach et Al, 2006). Ce type de graphique permet également d'identifier les situations pour lesquelles le modèle est le moins en accord avec les valeurs observées (ex : ici le modèle est moins en accord avec les données de références avant la période de chauffe marquée par « début de l'évaluation »).

- Représentation des résidus

Cette méthode consiste à représenter les résidus (entre données observées et prédites) sur l'axe des ordonnées en fonction des valeurs mesurées (axe des abscisses). Dans ce type de graphique l'erreur apparaît directement et, il est facile de comparer les erreurs. Ici par exemple (cf. figure 5) on observe que la différence maximale est de 8% et qu'un grand nombre de points simulés diffèrent de moins de 2% par rapport aux valeurs de référence.

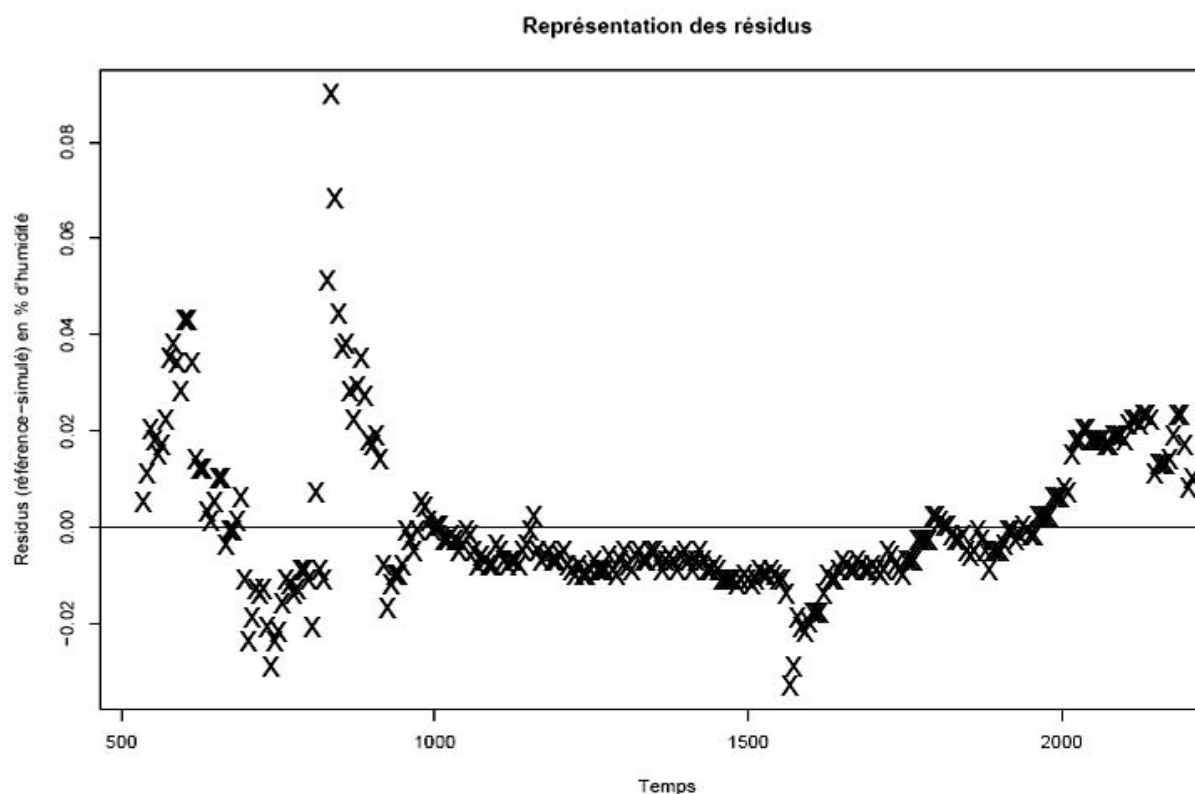


Figure 5 Exemple de graphique représentant les résidus en fonction du temps

Toutefois des limites sont inhérentes à ces tests visuels, on retrouve d'ailleurs un certain nombre de critiques à l'égard de validations basées sur ce test. Ainsi Kirchner et al. (1996) mettent en cause l'acceptabilité de ce genre de test en démontrant qu'un modèle invalide peut y satisfaire. Ils dénoncent le manque d'objectivité dans la définition des données qui peuvent être considérées comme acceptables.

Afin de prendre en compte ces critiques, Mitchell et Sheehy (1997) puis Girardin et Al (1999) (Bockstaller and Girardin, 2003), proposent un test graphique prenant en compte une partie statistique (cf. Figure 6). Il s'agit de représenter le graphique des scores de l'indicateur en fonction de la mesure au champ et de vérifier qu'au moins 95% des valeurs (niveau acceptable recommandé par Mitchell et Sheehy (1997)) se trouvent dans une zone donnée définissant un niveau d'acceptation, à priori.

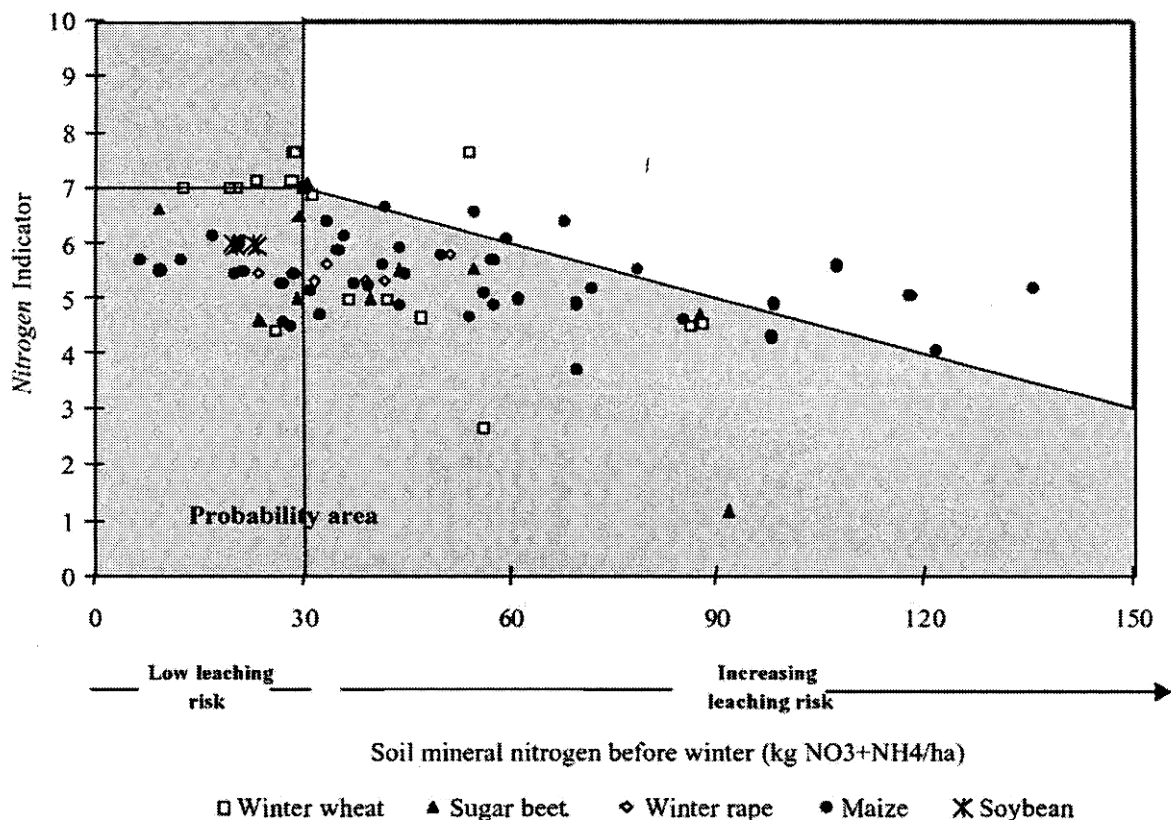


Figure 6 Exemple de "probability test" (extrait de Bockstaller and Girardin, 2003)

Ces graphiques sont souvent assortis de critères d'adéquation pour légitimer la validation et prendre en compte les critiques formulées vis-à-vis des tests graphiques.

➤ les critères d'adéquation

Actuellement des tests statistiques permettent d'objectiver la validation. Ils constituent également un outil d'analyse complémentaire aux représentations graphiques. Plusieurs variables ou critères sont proposés, notamment par Wallach et al (2006) (cf. Annexe Ap2 Figure 1). Ils permettent de mesurer l'adéquation entre les valeurs mesurées et prédites.

Nous venons de parcourir les différentes méthodes employées dans le cadre de l'évaluation des indicateurs agronomiques, environnementaux ou agro-environnementaux. Ces méthodes sont bien adaptées à l'évaluation du risque de type 1 (cf. 2.3.2). Toutefois elles n'apportent pas réellement de réponse à l'évaluation du risque de type 2. Pour cela il faut se tourner vers la littérature concernant le domaine médical, qui évalue ses indicateurs dans le cadre du diagnostic médical par l'évaluation de performance.

3.1.2 L'évaluation de performance

L'évaluation de la performance repose sur l'identification de quatre cas inhérents à un modèle de décision binaire.

Les quatre types de réponses sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (cf. Tableau 1). On les illustre avec l'exemple d'un diagnostic médical où les patients sont soit malades soit sains.

Soit D l'état réel et I l'état déterminé par l'indicateur (ou le diagnostic médical).

Tableau 1 Répartition de la population étudiée à l'aide d'un indicateur au sein de quatre cas

	Patient malade (D-)	Patient sain (D+)
Test (diagnostic) positif (I+)	Vrais positifs	Faux positifs
Test (diagnostic) négatif (I-)	Faux négatifs	Vrais négatifs

Cette méthode de classification part du principe que

- dans la réalité on peut distinguer deux cas : un positif et un négatif représentés respectivement par D+ et D-

- l'indicateur diagnostique deux cas un positif et un négatif représentés respectivement par I+ et I-

La classification entre D+ et D-, censée représenter la réalité, est appelée Gold Standard. La proportion des cas positifs à l'intérieur de la population étudiée est appelée prévalence.

Cette méthode de classification propose d'étudier la répartition de la population considérée au sein de ces quatre cas. La répartition de la population au sein de ces cas va être influencée par le seuil de décision fixé pour l'indicateur (dans le cas d'un indicateur numérique).

➤ « Statistical prediction rules »

Les règles de prévision statistiques permettent de caractériser la relation entre une variable de réponse binaire et une variable exploratoire mesurée pour renseigner sur son état (Hugues et Madden, 2002). En s'appuyant sur la répartition étudiée précédemment (cf. Tableau 1), de nombreux critères émergent permettant cette caractérisation

- La fraction de vrais positifs ou sensibilité (Psensi ou FVP) : $Psensi = VP / (VP+FN) = \text{Probabilité}(I+|D+)$

Ce critère permet de mettre en évidence la capacité de l'indicateur à détecter les cas positifs comme positifs.

- La fraction de vrais négatifs ou spécificité (Pspe ou FVN) : $FVN = VN / (VN+FP) = \text{Probabilité (I-|D-)}$

Ce critère permet de mettre en évidence la capacité de l'indicateur à détecter les cas négatifs comme négatifs.

- La fraction de faux positifs (FFP) : $FFP = FP / (FP+VN) = 1-FVN = \text{Probabilité (I+|D-)}$

La fraction de faux positifs (inverse de la fraction de vrai négatifs) permet de caractériser la proportion des cas négatifs qui ne sont reconnus comme tels par l'indicateur.

- La fraction de faux négatifs (FFN) : $FFN = FN / (FN+VP) = 1-FVP = \text{Probabilité (I-|D+)}$

Ce critère met en évidence la proportion des cas positifs qui ne sont pas reconnus comme tels par l'indicateur.

- L'exactitude ou la précision (Pre) : $Pre = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$

Ce critère permet de caractériser la proportion des cas pour lesquels l'indicateur fournit une prédiction correcte.

- La valeur prédictive positive (VPP) : $VPP = VP / (VP+FP)$ et la valeur prédictive négative (VPN) : $VPN = VN / (VN+FN)$

Permettent de caractériser respectivement la proportion des cas diagnostiqués comme positifs et négatifs qui correspondent à la réalité de leur statut.

Ces critères sont dépendants de la prévalence.

- le rapport de vraisemblance positif (RV+) $RV+ = VP/FP$

Ces deux critères caractérisent la probabilité pour un diagnostic positif d'observer un cas dont le statut est positif par rapport à la probabilité d'observer un cas diagnostiqué positif alors que son statut est négatif. Dans le cas d'un indicateur parfait on a donc RV+ qui tend vers l'infini. Dans le cas d'un indicateur non informatif cette proportion tend vers 1.

- le rapport de vraisemblance négatif (RV-) $RV- = FN/VN$

Probabilité d'une observation négative chez les cas réellement positifs par rapport à la probabilité d'une observation négative pour les cas réellement négatifs.

Dans le cas d'un indicateur parfait on a donc RV^- qui tend vers 0. Dans le cas d'un indicateur non informatif cette proportion tend vers 1.

- la prévalence := $(VP+FN)/(VP+VN+FP+FN)$

Il s'agit du taux de cas positifs présents dans la population étudiée.

Les « statistical prediction rules » permettent donc d'observer « le comportement » d'un outil d'aide à la décision pour un seuil de décision donné. Il est également possible de tester certains critères afin d'éventuellement observer des différences significatives entre critères.

➤ la méthode ROC (Receiver operating characteristic)

La méthode ROC est couramment utilisée par les cliniciens afin d'évaluer les tests de diagnostic dans le cadre de la prise de décision (Hughes et al., 1999). Cette méthode s'appuie sur la représentation graphique de deux critères des « statistical prediction rules », la sensibilité et la spécificité, pour une large gamme de seuils (cf. Figure 7).

La courbe ROC doit passer par les coordonnées (1,0) et (0,1) c'est-à-dire que la gamme de seuil de décision doit être suffisamment large pour que le seuil de décision minimal permette de classer tous les cas comme positifs et le seuil maximal permette de classer tous les cas comme négatifs. La courbe ROC est un outil descriptif qui retrace l'ensemble des possibilités offertes avec le test (Sullivan, 2003). Ainsi les tests peuvent être comparés au-delà de la valeur seuil que l'on est amené à utiliser.

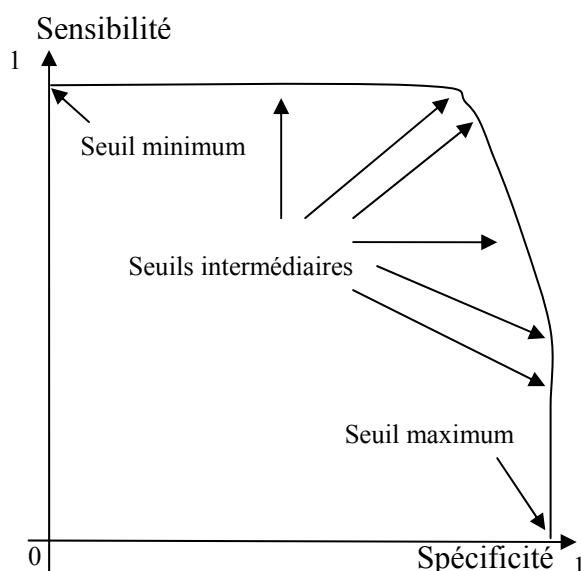


Figure 7 Représentation de la construction d'une courbe ROC

Ce faisant, elle prend en compte la variabilité des performances de classification en fonction de la valeur du seuil de décision. Il s'agit d'une méthode visuelle et simple qui fournit une représentation de la précision du test au-delà du seuil de décision. Elle n'exige pas non plus de soins particuliers afin d'obtenir des échantillons représentatifs (Sullivan, 2003).

L'aire sous la courbe est une variable numérique employée afin de résumer la performance des tests. Elle est généralement appelée AUC (pour Area

Under Curve). Pour le test d'un indicateur parfait le tracé du graphique décrit un carré allant de (1,0) jusqu'à (0,1) en passant par (1,1) (cf. Figure 9). En effet un test parfait sépare tous les cas positifs et tous les cas négatifs, la sensibilité et la spécificité du test sont donc de 100%.

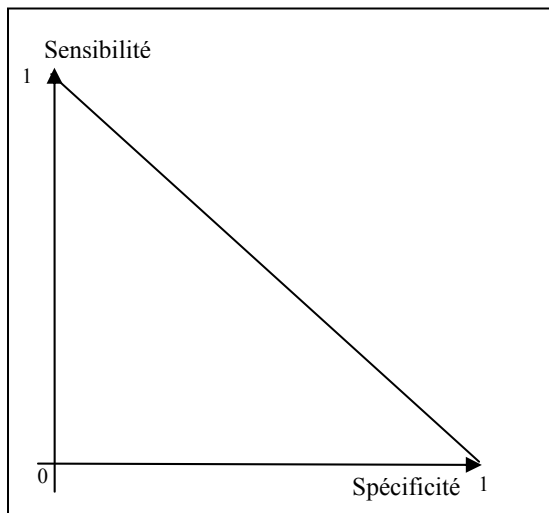


Figure 9 Courbe ROC représentant un indicateur non informatif

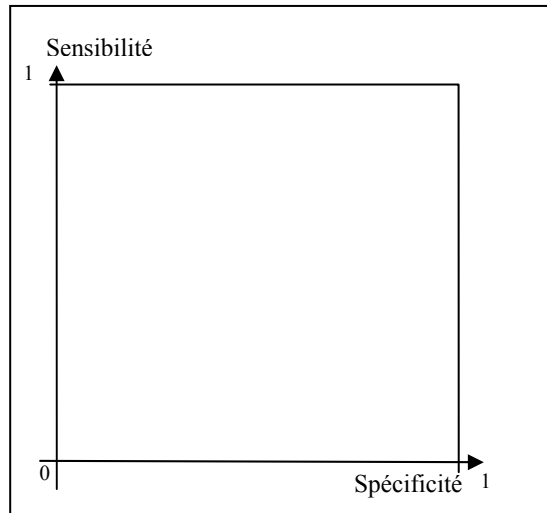


Figure 8 Courbe ROC représentant un indicateur parfait

Lorsque la courbe forme un segment entre les points (0,1) et (1,0) (en passant par (0.5, 0.5)) le test est considéré comme aléatoire (cf. Figure 8), car cela signifie que la classification mène à estimer autant de cas positifs et négatifs dans chacune des classes des cas réel positifs et négatifs (individus atteints ou non). Ceci équivaut à une classification aléatoire. Une telle courbe est donc appelée non informative (Primot et Al, 2005). L'aire sous la courbe ROC (AUC) renseigne donc la capacité de l'indicateur de distinguer un cas positif d'un cas négatif.

Cette courbe permet donc également de procurer une comparaison visuelle directe entre deux tests réalisés à la même échelle (Zweig et Campbell, 1993). Ainsi les courbes ROC peuvent fournir une représentation non ambiguë, de la capacité des tests à détecter un événement et permettent aussi de comparer différents tests entre eux (Turner, 1978). La méthode ROC peut également aider à déterminer le seuil de décision (sélection à posteriori du seuil procurant les meilleurs résultats).

Cette méthode peut être décomposée en quatre étapes d'après Swets et al (2000).

La première étape consiste à mettre en place un « un gold standard », c'est-à-dire à étudier un échantillon de la population dont on connaît l'état par rapport à ce que doit statuer le test.

La deuxième étape consiste à faire varier un seuil de décision qui permettra de classer l'échantillon en deux classes (pour chaque seuil).

La troisième étape consiste à construire la courbe ROC.

La quatrième, si le niveau de précision est suffisant, permet de choisir un seuil qui présente un rapport sensibilité/spécificité proche de celui désiré.

➤ Les tests basés sur des jugements d'expert

Le test consiste à sélectionner un panel d'experts qui va porter un jugement sur la prédiction de l'indicateur. Mayer et Butler (1993) considèrent que cette approche subjective ne doit pas être exclusive mais doit venir en complémentarité d'autres méthodes. Cette méthode convient pour l'évaluation de la performance mais également pour celle de la précision. Toutefois elle est assez lourde à mettre en place puisque il faut réunir un grand nombre d'experts qui observent le même phénomène au même stade.

➤ Récapitulatif des avantages et limites des différents types de test

Les différents avantages et limites des types de test proposés son récapitulé dans le Tableau 2.

Tableau 2 Récapitulatif des avantages et limites des différents types de tests

Méthode	Quantification / Comparaison	Rapide et non complexe	Précision Performance	Prise en compte d'une large gamme de seuil de décision
Tests visuels	Non	Oui	Précision	
Test de Mitchell	Oui	Oui	Précision / Performance	
Critères d'adéquation	Oui	Non	Précision	
Prediction rules	Oui	Oui	Performance	Non
ROC	Oui	Oui	Performance	Oui
Experts	Possible	Non	Précision / Performance	Possible

3.2 Choix de méthode d'évaluation

L'indicateur étudié est destiné à être utilisé dans le cadre d'une confrontation avec un seuil de décision décidé à priori mais qui n'est pas encore établi pour l'instant.

Plusieurs indicateurs doivent être comparés. Il est donc nécessaire de pouvoir comparer plusieurs tests pour jauger de l'impact du choix des indicateurs.

La méthode choisie doit donc permettre à la fois une comparaison, et explorer une large gamme de seuil de décision. La méthode ROC appuyée par certains critères de statistical prediction rules semble donc appropriée à cette étude puisqu'elle permet de répondre aux principaux objectifs.

Certains types de tests visuels comme les Graphes avec données mesurées et prédites versus temps pourront être utilisés afin d'analyser le comportement des indicateurs.

Les critères retenus pour l'analyse sont :

- l'aire sous la courbe ROC (AUC), qui permet d'estimer le potentiel de performance des indicateurs.
- la précision (Pre), qui permet de déterminer le taux de cas bien classés par l'indicateur.
- La sensibilité (Psensi), qui permet de déterminer le taux de cas positifs bien classés par l'indicateur.
- La spécificité (Pspe), qui permet de déterminer le taux de cas négatifs bien classés par l'indicateur.
- La valeur prédictive positive (VPP), qui permet de déterminer le taux de cas classés correctement parmi les prédictions positives délivrées par l'indicateur
- La valeur prédictive négative (VPN), qui permet de déterminer le taux de cas classés correctement parmi les prédictions négatives délivrées par l'indicateur

Ainsi l'AUC nous permettra de déterminer le potentiel des indicateurs et la Pre leur performance globale de classification des cas réels.

Psensi et Pspe permettront de déterminer la performance des indicateurs à classer les cas respectivement positifs et négatifs

VPP et VPN permettront de déterminer le taux de prévisions correctes des prévisions respectivement positives et négatives fournies par l'indicateur.

4 Méthode de l'étude

Cette partie décrit les différents points clefs de l'évaluation. On distinguera deux évaluations : une basée sur un jeu de références issu de simulations et une basée sur un jeu de références issu de relevés in situ.

Pour l'évaluation basée sur des données de référence simulées on peut distinguer trois phases principales :

La première est l'obtention de données de référence, issues du modèle TEC. L'hypothèse de départ de cette évaluation est de considérer que ces données reflètent la réalité in situ. Elles sont élaborées avec le plus important niveau de précision pour le modèle considéré. La caractérisation des paramètres a été effectuée à partir de relevés. Ces données sont générées à partir de différentes séquences climatiques et caractérisations de sols préexistantes.

Ensuite les données des indicateurs vont être construites. Elles sont également générées par le modèle mais diffèrent par leur construction. Il existe différents niveaux de précision possible pour la construction de ces indicateurs (qui sont tous inférieurs au niveau de précision des données de référence). Ces données sont générées à partir des séquences climatiques utilisées pour les données de référence et de caractérisations simplifiées de sols.

Enfin l'indicateur (à ses différents niveaux de précision) va être comparé aux données de référence. Ceci afin de déterminer si la dégradation de l'information de l'indicateur, dans le cadre d'un outil d'aide à la décision (OAD), permet d'aboutir aux mêmes prises de décisions que les données de référence.

Pour l'évaluation basée sur des données de référence issues de relevés de terrain on peut distinguer les trois mêmes phases principales :

La phase d'obtention des données de référence, qui passe par l'importation des relevés effectués sur l'observatoire du sol du domaine Saint Paul de l'Inra et leur retraitement (étalonnage des sondes et conversion des données brutes pour les rendre utilisables).

Ensuite les données de l'indicateur vont être construites. Les différents niveaux de précision correspondant aux indicateurs sont générés. Ces données sont générées à partir de séquences climatiques relevées par la station climatique du domaine Saint Paul et une caractérisation de sol faite à partir des informations disponibles sur la parcelle étudiée (informations provenant de l'observatoire sol du domaine Saint Paul).

Enfin l'indicateur (à ses différents niveaux de précision) va être comparé aux données de référence.

4.1 Le modèle de transfert d'eau et modèle de décision :

4.1.1 Le modèle TEC

« All models are wrong but some are usefull » (Journal of the American Statistical association, 1976)

Il s'agit d'un modèle mécaniste basé sur l'appréhension du système sol, du système sol-atmosphère et leur couplage. Ce modèle est construit sur un bilan de masse et un bilan d'énergie. Sa représentation schématique (cf. Figure 10) résume les principales caractéristiques physiques du système : les variables d'entrées, les conditions initiales, les conditions aux limites et les variables de sortie. Les principales variables utilisées sont récapitulées en Annexe (cf. Annexe Ap3 Tableau 1). Certaines limites de ce modèle sont inhérentes à sa construction (cf. Tableau 3)

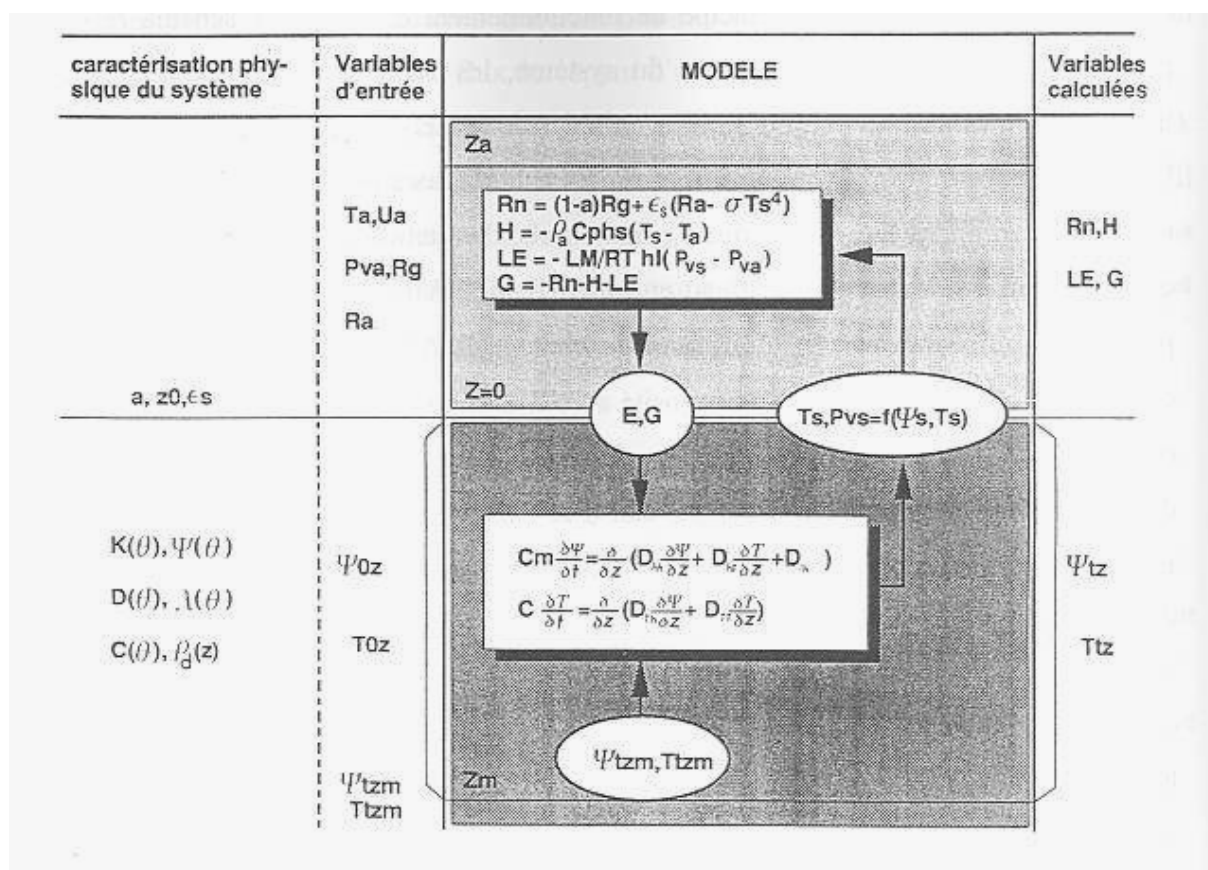


Figure 10 Représentation schématique du modèle TEC (Chanzy, 1991)

Tableau 3 Principales hypothèses faites dans le modèle TEC (Chanzy, 1991)

Hypothèses sur le système Physique	Les flux sont monodimensionnels et verticaux. Il n'y a pas de sources ni de puits de chaleur dans le sol. Le sol est non déformable.
Hypothèses sur les constituants	L'eau est incompressible et chimiquement pur. La vapeur d'eau est assimilée à un gaz parfait. Les phases liquide et vapeur sont en équilibre thermodynamique La pression totale de la phase gazeuse dans le sol est constante et égale à la pression atmosphérique
Hypothèses sur la nature des flux	Les flux de vapeur d'eau sont décrits par la loi de Fick Le transport d'eau adsorbée engendrée par le gradient thermique est négligé

On peut donc distinguer deux systèmes constitutifs du modèle le système sol et système interface sol atmosphère

- le système sol

Pour décrire les transferts d'eau et de chaleur d'un volume élémentaire de sol le modèle s'appuie, respectivement, sur les équations de Philipe et De Vries (Cf. Annexe Ap4 Equations 1).

Le sol peut être discrétisé en maximum trois éléments délimités. Chaque horizon est caractérisé par ses propriétés physiques. Ce système permet ainsi de modéliser la dynamique hydrique à l'intérieur du sol.

- le système interface sol atmosphère

Ce système permet de caractériser le bilan d'énergie et de chaleur de surface. Il modélise les échanges thermiques et de vapeur d'eau entre le sol et l'atmosphère (cf. Annexe Ap5 Figure 2). Pour cela le système s'appuie sur la détermination du rayonnement net et du flux de chaleur et de masse (flux convectif et latent).

Ces deux systèmes complémentaires sont couplés afin de modéliser le fonctionnement global de la dynamique hydrique et énergétique du sol.

Le modèle TEC permet ainsi de calculer des profils d'humidité, de température et de potentiel hydrique du sol.

➤ Les variables d'entrée du modèle TEC:

Les variables d'entrée du modèle sont des données nécessaires à la modélisation de la teneur en eau. Ces données sont plus ou moins accessibles et leur précision a plus ou moins d'impact sur la modélisation de la teneur en eau.

A l'issue d'une revue bibliographique sur les méthodes de mesure et d'une analyse de sensibilité, Mumen (2006) a pu classer les variables d'entrées du modèle en trois catégories.

- les données d'entrée ayant un fort impact sur la modélisation de la teneur en eau et qui sont difficilement mesurables
- les données d'entrée ayant peu d'impact sur la teneur en eau
- les données facilement accessibles

Lors de sa thèse Mumen (2006) a également effectué une étude bibliographique sur les fonctions de pédotransfert comme alternatives aux mesures de propriétés hydrodynamiques et thermiques du sol. Une fonction de pédotransfert permet d'apprécier une propriété ou un comportement du sol généralement difficilement mesurable à l'aide de caractéristiques du sol facilement observables ou mesurables. Il existe plusieurs relations, elles sont empiriques (Mumen, 2006). C'est pourquoi elles ont été étudiées afin de déterminer celles qui donnaient les meilleurs résultats avec le modèle TEC.

Plusieurs résultats émergent de ce travail (Mumen, 2006)

- la fonction de pédotransfert qui caractérise le mieux les propriétés hydrodynamiques de sol est celle de Wosten. Elle permet d'obtenir la courbe de rétention et de conductivité hydraulique à partir de la proportion d'argile, de matière organique et de la densité du sol.
- un temps de chauffe, qui permet de caractériser le potentiel hydrique, peut être utile à l'initialisation du modèle. Ce temps dépend du nombre d'événements pluvieux, de leur intensité et des propriétés hydrodynamiques du sol. Il considère que de bons résultats sont obtenus en initialisant le modèle à l'aide d'un potentiel hydrique de -10kPa 48 heures après une forte pluie.

Les recommandations faites par Mumen (2006) amènent à des estimations avec une précision de l'estimation de la teneur en eau de présentant une RMSE (cf. Annexe Ap2 Figure1) inférieure 0.04 cm^3/cm^3 dans la plupart des cas.

Il montre également qu'une amélioration de la modélisation des teneurs en eau est possible en fournissant des données d'humidités au modèle pour le sol étudié. Ceci donne suite au stage de maîtrise de NGuyen Van M-L (2006). Elle propose une méthode d'assimilation variationnelle. Les techniques d'assimilation permettent, à partir de données observées, de rectifier les paramètres du modèle afin que ceux-ci délivrent un résultat aussi proche que possible de la réalité. Il s'agit d'une technique d'optimisation des paramètres du modèle, appelé calage. Lors de ce travail M-L NGuyen suggère le choix d'une technique d'assimilation temporelle. Elle préconise le calage de paramètres des la courbes de rétention et de conductivité hydraulique employées par le modèle. La stratégie développée permet d'atteindre une RMSE inférieure à 0.03 cm^3/cm^3 dans la plupart des cas.

4.1.2 Le modèle de décision et la définition des seuils

Les indicateurs fournissent une valeur prédictive de la teneur en humidité du sol. Cette valeur est comparée à un seuil de décision. Si cette valeur est supérieure au seuil de décision alors on considère que la parcelle est trop humide pour pouvoir y pratiquer une intervention mécanisée. Le résultat du

diagnostic est alors positif. A contrario si la valeur fournie par l'indicateur est inférieure au seuil de décision le diagnostic est considéré comme négatif et une intervention agricole n'est pas déconseillée. Ces décisions sont comparées avec les décisions de référence. Pour constituer ces décisions de référence (le gold standard), de la même manière, il a fallu répartir la population (de référence) en deux groupes : le groupe des positifs et celui des négatifs. Pour cela on a utilisé la valeur de la capacité au champ comme seuil de décision de référence (que nous appellerons seuil d'entrée dans la parcelle). En effet, d'après les études en cours dans le cadre DST il semble qu'au-delà de cette valeur d'humidité, exercer une contrainte importante sur le sol pourrait nuire à sa structure. Comme ces seuils ne sont pas encore bien établis nous testerons trois gold standards : un effectué à la valeur d'humidité de la capacité au champ (Seuil), et les deux autres respectivement à plus ou moins 10% (Seuil+10 et Seuil-10).

On peut donc distinguer deux seuils de décision : celui appliqué à l'indicateur (appelé seuil de décision de l'indicateur) et celui appliqué à la référence (appelé seuil d'entrée dans la parcelle). Ici puisque l'indicateur et la référence sont exprimés dans la même unité on testera un seul seuil de décision de l'indicateur égal au seuil d'entrée dans la parcelle avec les « statistical rules prediction ». Toutefois l'analyse ROC, qui repose sur le principe de tester une gamme de seuils de décision pour les indicateurs, permettra lors de l'analyse de juger de la performance de l'indicateur au-delà du seuil de décision nominal choisi.

4.2 La génération des données de référence simulées.

Les données sont issues modèle TEC. Deux séquences climatiques ont été utilisée : celle d'Avignon (cf. Annexe Ap7 Figure 3) et celle de Mons (cf. Annexe Ap7 Figure 4). Pour sept sols (cf. tableau 4) en fonction de ces deux climats quatre jeux de données d'indicateurs et un jeu de données de référence ont été simulés. Pour chaque indicateur et pour les références les humidités sont exprimées sur trois couches de sol différentes. Le modèle génère 3 humidités par pas de temps de 24 heures : une est générée à 6 heures, l'autre à 12 heures et la troisième à 18 heures.

Tableau 4 Récapitulatifs des caractéristiques des sols utilisés pour les simulation

Nom	Situation géographique	Texture - Classification	Profondeur des couches	Argile (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Sable (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Limons (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Densité apparente (g/cm3)	Matière Organique (%)	Référence
Col	Collias (84)	Silt Loam	0-80	10,5	38,8	50,6	1,44	1	(Chanzy, 1991)
Mons	Mons (91)	Silt Loam	0-33	14,5	5,2	79,8	1,28	2,1	(Sillon, 1999)
			33-80	25,2	3,0	71,2	1,52	0,9	
Mex	Mexique	Sandy Loam	0-20	16,5	59,2	23,9	1,48	1,2	(Findeling 2001)
			20-80	20,8	46,2	33,0	1,23	0,9	
Alp5	Alpilles (13)	Silt Loam	0-10	17,0	34,3	48,6	1,24	1,2	(Olioso et al., 2002)
			10-40	17,0	29,2	53,8	1,28	1,5	
			40-80	17,0	29,2	53,8	1,46	1,0	
Poi	Avignon (84)	Silt Clay Loam	0-10	27,2	11,0	61,7	1,29	2,4	(Chanzy, 1991)
			10-25	27,2	11,0	61,7	1,40	2,4	
			25-80	27,2	11,0	61,7	1,60	1,0	
Alp1	Alpilles (13)	Silt Clay Loam	0-10	38,9	5,3	55,8	1,30	2,5	(Olioso et al., 2002)
			10-40	39,7	4,6	55,7	1,35	2,5	
			40-80	48,1	2,0	49,4	1,60	1,0	
Mar	Maroc	Clay	0-20	62,5	11,6	26,0	1,13	2,3	(Aboudrare, 2000)
			20-80	62,5	11,5	28,0	1,37	2,3	

4.2.1 Le jeu de données de référence

Le jeu de données de référence est nécessaire à l'évaluation des indicateurs. Le jeu de données est issu de simulations réalisées à l'aide du modèle TEC. Des données expérimentales permettent une plus grande objectivité car elles ne favorisent pas un modèle. Toutefois l'absence d'un important jeu de données expérimental oblige à mener l'étude à l'aide de données simulées. Celles-ci comportent néanmoins quelques avantages. Tout d'abord cela permet de réaliser facilement une étude sur une large gamme de sols, associés à différents climats. Ainsi les données de référence ont été simulées pour sept sols différents, qui couvrent une gamme de textures différentes (cf. Tableau 4)

Si une étude expérimentale avait été menée dans ces conditions il aurait été nécessaire de s'appuyer sur des bases de données provenant de différents endroits, certainement avec différents protocoles de mesures. Cela aurait pu conduire à accroître les sources d'erreurs. De plus l'hétérogénéité, habituellement observée, de l'humidité du sol influe sur la représentativité des mesures. Son absence permet donc de s'affranchir de cette source d'erreur.

Ces simulations sont réalisées à partir de deux séquences climatiques. Elles sont issues des relevés climatiques des stations INRA d'Avignon et d'Estrée-Mons. Ces climats peuvent être caractérisés par leur type respectivement méditerranéen pour le premier (avec de fortes pluies et de longues périodes sèches) et océanique pour le second (avec des pluies fréquentes et peu abondantes) (cf. Annexe Ap7 Figure 3 et Figure 4). Ceci permet d'étudier le comportement du modèle vis-à-vis de deux contraintes météorologiques différentes.

Les simulations seront analysées de manière restrictive et non restrictive. Lors de l'analyse restrictive seules les valeurs critiques seront prises en compte. Les cas critiques sont les points de la simulation pour lesquels la valeur de référence est proche du seuil de décision étudié (à plus ou moins 15%). Cela permet de ne pas prendre en compte les situations évidentes (hautes ou faibles humidités du sol) pour lesquelles le test n'amène pas de valeur ajoutée puisque ces situations sont facilement identifiables.

4.2.2 Les indicateurs

Plusieurs indicateurs sont testés ici. Issus de la même variable, du même modèle, ils diffèrent entre eux par leur élaboration qui ne met pas en jeu les mêmes données d'entrée. Ainsi, en fonction de modalités d'entrée, plusieurs indicateurs sont obtenus. Ils n'ont pas le même niveau de précision et n'impliquent pas les mêmes conditions d'application réelle. Ces modalités d'entrées visent à permettre

de caractériser le comportement hydrodynamique des sols. Le chapitre précédent détaille les stratégies mises en place ici afin d'estimer les paramètres d'entrée du modèle.

Tous les indicateurs obtenus ont été générés après une forte pluie, conformément aux conditions d'initialisation préconisées (Mumen, 2006). La simulation démarre à l'heure 528 pour le climat d'Avignon et 216 pour le climat de Mons et l'évaluation débute respectivement à l'heure 948 et 1224. Pour chaque indicateur les prévisions ont été effectuées pour évaluer la teneur en eau de trois couches de sol : 0-5cm (H0005); 0-15cm (H0015) et 0-30cm (H0030).

Voici les constructions d'indicateurs qui ont été mis en place et étudiés :

- la construction de type n1

Les données d'entrée du modèle sont paramétrées à l'aide de la fonction de pédotransfert de Wosten.

- la construction de type n2

Dans ce cas, les paramétrages de certains coefficients sont rectifiés à l'aide de la technique d'assimilation temporelle. Sept observations ont été utilisées pour l'assimilation. Pour n2 les paramètres de α et n de la courbe de rétention et K_s et v de la courbe de conductivité hydraulique ont été paramétrés, à l'aide d'observation sur la couche 0-5cm. Pour n21 la construction est identique mais seul le paramétrage des coefficients α et n de la courbe de rétention est effectué. Pour n22 la construction est identique à n21 mais les observations sont effectuées sur la couche 0-20 cm. La construction des indicateurs est récapitulée dans le Tableau 5.

Tableau 5 Récapitulatif de la construction des indicateurs

<u>Dénomination</u>	<u>Couche de sol observée</u>	<u>Coefficients paramétrés</u>
n2	0-5 cm (H0005)	K_s, v, α, n
n21	0-5 cm (H0005)	α, n
n22	0-20 cm (H0020)	α, n

4.3 Méthode expérimentale

Afin de tester l'outil dans des conditions réelles, une expérimentation a été réalisée sur le Domaine Saint-Paul de l'Inra d'Avignon (Parcelle Grue B3).

Trois opérations distinctes ont été effectuées :

- une expérimentation sur le tassement de sol, qui visait à déterminer un lien entre le taux d'humidité du sol et le tassement induit. (cf. Annexe Ap9 Protocole 1). A l'occasion de ce test de roulement, des relevés de densité et d'humidité ont été réalisés sur la parcelle.
- une simulation de l'évolution de la teneur en eau du sol, basée sur les relevés météorologiques réalisés sur la parcelle étudiée, par la station météorologique de mesure permanente de l'Inra du domaine Saint-Paul
- des relevés d'humidité réguliers sur la parcelle à l'aide d'une sonde à neutrons

Afin de pouvoir exploiter les données fournies par la sonde à neutron, une vérification de l'étalonnage à dû être effectuée, ainsi qu'un retraitement des données brutes de la sonde (comptages) (cf. Annexe Ap13 Protocole 2)

Ici nous analyserons donc 36 situations, issues d'un seul sol, pour trois indicateurs, trois valeurs de seuils différentes et trois couches de sortie. Ici les couches de sortie étudiées sont :

H0010 : profondeur : 0-10 cm

H0020 : profondeur : 0-20cm

H0030 : profondeur : 0-30cm

5 Résultats

5.1 Résultats des simulations

Nous allons tout d'abord rappeler les critères retenus pour l'analyse. On distinguera deux types de critères qui seront traités séparément :

➤ les critères émergeant des « statistical prediction rules » qui permettent d'évaluer le fonctionnement de l'OAD. Ces critères sont calculés avec des indicateurs qui utilisent un seuil de décision identique à celui utilisé pour déterminer le gold standard (c'est-à-dire distinctement le seuil de la capacité au champ, le seuil de la capacité au champ -10% et le seuil de la capacité au champ +10%)

Ces critères sont :

- la précision (Pre), qui permet de déterminer le taux de jours disponibles et indisponibles bien classés par l'indicateur.
- La sensibilité (Psensi), qui permet de déterminer le taux de jours non disponibles pour le travail du sol qui sont détectés en tant que tel par l'indicateur.
- La spécificité (Pspe), qui permet de déterminer le taux de jours disponibles qui sont détectés en tant que tel par l'indicateur.
- La valeur prédictive positive (VPP), qui permet de déterminer le taux de prévisions justes parmi les jours classés par l'OAD comme non disponibles pour le travail du sol.
- La valeur prédictive négative (VPN), qui permet de déterminer le taux de prévision juste parmi les jours classés par l'OAD comme disponibles pour le travail du sol.

Ces critères prendront une importance plus ou moins grande en fonction du type d'outil que l'on veut mettre en place. Afin d'évaluer les indicateurs en fonction de leur cadre d'utilisation trois scénarios sont identifiés :

- Prévision des jours disponibles et indisponibles – la météo du labour

Si l'on souhaite mettre en place un OAD dans le but de prévoir à la fois les jours disponibles et indisponibles pour le travail du sol. Le critère à privilégier sera la précision (Pre). En effet ce critère reflète le taux de prédiction juste des jours disponibles et indisponibles pour le travail du sol.

- Prévision des jours disponibles – le feu vert du labour

Dans ce cas on désire mettre en place un OAD dans le but de prévoir les jours disponibles pour le travail du sol les critères plus importants sont la spécificité et le VPN. La spécificité permettra de connaître quel est le taux de jours disponibles qui a été identifié par l'OAD tandis que le VPN va

permettre de connaître le taux de prédiction juste des prévisions de jours disponibles. Entre ces deux critères on privilégiera la spécificité si la crainte principale est de manquer des jours disponibles alors que l'on privilégiera le VPN si l'on craint principalement de causer des dégâts.

- Préviation des jours indisponibles – l'alerte rouge du labour

Dans ce cas on désire mettre en place un OAD dans le but de prévoir les jours indisponibles pour le travail du sol. Les critères les plus importants à prendre en compte sont alors la sensibilité et la VPP. La sensibilité permet de connaître le taux de jours indisponibles pour le travail du sol qui a été détecté par l'OAD. Le VPP permet de connaître le taux de prédictions justes parmi les prédictions de jours indisponibles. Entre ces deux critères on privilégiera la sensibilité si la crainte principale est de manquer des jours à risque alors que l'on privilégiera le VPP si la crainte est de rater des jours disponibles.

➤ le critère émergeant de la méthode ROC (l'AUC) qui permet d'évaluer le potentiel de l'OAD. Ce potentiel est déterminé en explorant une gamme de seuils de décision pour l'indicateur. Il s'agit de déterminer si un seuil de décision parmi la gamme explorée permet d'atteindre une haute valeur de détection des jours disponibles et des jours indisponibles pour le travail du sol.

Pour tous les types de critères étudiés nous analyserons d'abord les résultats associés au jeu de données simulées puis les résultats associés au jeu de données expérimentales.

Rappel de la méthode d'analyse restrictive :

Les simulations seront analysées de manière restrictive et non restrictive. Lors de l'analyse restrictive, seules les valeurs critiques seront prises en compte. Les cas critiques sont les points de la simulation pour lesquels la valeur de référence est proche du seuil de décision étudié (à plus ou moins 15%). Cela permet de ne pas prendre en compte les situations évidentes (hautes ou faibles humidités du sol) pour lesquelles le test n'amène pas de valeur ajoutée puisque ces situations sont facilement identifiables.

5.1.1 Résultats bruts de l'ensemble des traitements

Les tableaux en annexe récapitulent les scores obtenus (cf. Annexe Ap 26 Tableau 3 et Annexe Ap 36 Tableau 4) par les indicateurs lors des tests. Chaque ligne du tableau représente une « situation ». Une situation correspond à une période étudiée pour un climat donné, sur un sol donné, à l'aide d'un indicateur donné et d'une sortie donnée. Ces deux tableaux présentent les résultats de toutes les situations étudiées lors de l'évaluation pour le test non restrictif et restrictif. La mention AV signifie

que la simulation a été effectuée à l'aide de la séquence climatique d'Avignon alors que la mention MO signifie que la simulation a été effectuée à partir du climat de Mons.

Les lignes du tableau qui ne contiennent pas d'information correspondent aux situations qui n'ont pas pu être simulées à l'aide du modèle pour des raisons techniques. Il s'agit des simulations de l'indicateur n2 pour le sol Mon sous le climat d'Avignon et de Mons, et de l'indicateur n21 sous le climat de Mons pour le sol Mon et Mex.

Dans certaines situations il n'y a pas de valeur de précision, d'AUC, de sensibilité, de spécificité, de VVP ou VPN. Ceci est dû au fait que pour ces situations le test ne présentait de cas (c'est-à-dire de point de test) permettant leur calcul. Dans ce cas un NA apparaît à la place du résultat. Il se peut aussi que la valeur pour certains critères soit nulle.

Pour le critère principal, la précision, on note une diversité de situations. Ainsi sur 469 situations testées le test non restrictif a amené à classer 35 situations au-dessous de 50% de précision et 117 situations au-dessus de 90% de précision. Lorsque le nombre de points est réduit aux points critiques on étudie alors 432 situations. Parmi elles 93 sont classées en deçà de 50% de précision et 133 sont au-dessus de 90% de précision. On obtient donc une diversité de résultats parmi les situations traitées.

Le tableau en Annexe (cf. Annexe Ap47 Tableau 5) récapitule le nombre de points pour les différents jeux de données de référence ainsi que la répartition de leur état positif ou négatif pour les tests restrictifs. Cela permet de prendre en compte, lors de l'analyse, la prévalence au sein des populations étudiées.

Ainsi le test non restrictif s'effectue sur 17829 cas alors que le test restrictif réduit la population à environ la moitié, c'est-à-dire 8790 cas.

La prévalence (taux de jours indisponibles parmi la population) est respectivement de 47 et 42% pour les tests non restrictifs et restrictifs. D'une manière générale la prévalence positive est supérieure sous le climat de Mons. Elle est de 73% pour le climat de Mons contre environ 27% pour le climat d'Avignon pour les tests sans restriction. Pour les tests restrictifs l'effet climat est moins marqué puisque la prévalence est de 52% pour le climat de Mons et 32% pour le climat d'Avignon.

L'observation de ces résultats met donc en évidence :

- une diversité des résultats obtenus par les tests de différentes situations. Cela signifie qu'en fonction du sol, de l'indicateur, de la sortie et du climat, des résultats assez différents peuvent être obtenus par l'utilisation de l'indicateur dans le cadre d'un OAD.
- Le choix d'étudier deux climats différents permet de confronter l'indicateur à des jeux de références qui diffèrent par leur proportion de jours disponibles et indisponibles.

5.1.2 Résultats par type d'indicateur

Les résultats présentés sont issus de la moyenne des différentes situations étudiées avec chaque indicateur. Il s'agit de caractériser l'efficacité de ces indicateurs lorsqu'ils sont confrontés à une diversité de situation.

Le Tableau 6 présente la performance des indicateurs n1, n2, n21 et n22, pour le test non restrictif et restrictif.

Tableau 6 Performance des indicateurs

Sans restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
n1	97%	57%	75%	86%	82%	n1	91%	46%	67%	84%	71%
n2	83%	70%	81%	77%	82%	n2	73%	62%	73%	75%	72%
n21	83%	71%	77%	70%	81%	n21	69%	62%	71%	68%	68%
n22	88%	67%	78%	77%	81%	n22	80%	59%	70%	75%	69%

Le Tableau 7 est construit de la même manière. La différence réside dans le fait que les sols Mon et Mex n'ont pas été pris en compte. Ceci permet de s'affranchir du fait que pour ces deux sols toutes les simulations n'ont pas été effectuées, ce qui pourrait modifier les résultats et les positions relatives des indicateurs.

Tableau 7 Performance des indicateurs - les sols Mon et Mex n'étant pas pris en compte

Sans restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
n1	99%	46%	69%	94%	80%	n1	97%	34%	64%	92%	69%
n2	81%	70%	80%	73%	81%	n2	71%	61%	71%	72%	69%
n21	81%	74%	77%	69%	81%	n21	67%	64%	70%	67%	66%
n22	91%	63%	72%	77%	80%	n22	82%	52%	63%	76%	65%

Les résultats et les positions relatives des indicateurs sont peu différents du Tableau 6. Nous analyserons donc le Tableau 6 qui est bâti sur un jeu de données plus important.

On remarque que les scores des différents indicateurs sont relativement proches notamment pour le test non restrictif. Le test restrictif permet de contraster un peu les résultats obtenus par les indicateurs. La capacité à caractériser les situations humides est plus élevée pour l'indicateur n1 dans les deux types de test. Toutefois les prévisions de jours indisponibles issus de cet indicateur sont moins fiables. Les techniques d'assimilation semblent pouvoir permettre une amélioration de la spécificité mais au détriment de la sensibilité. Cela traduit le fait que les indicateurs avec assimilation semble moins surestimer les valeurs d'humidités. L'indicateur n2 est celui qui valorise le mieux la technique d'assimilation, toutefois son temps de calcul est plus important puisque le calage s'effectue sur quatre paramètres.

	Alerte rouge		Feu vert		Météo Pre
	VPP	Psensi	VPN	Pspe	
N1	-	++	+	--	=
N2	=	=	=	-	=
n21	=	-	-	-	-
n22	=	+	=	--	-

Tableau 8 Choix des indicateurs par rapport au scénario envisagé

L'indicateur n1 est le mieux adapté au scénario alerte rouge car c'est lui qui permet de détecter le plus de jours indisponibles. On pourra éventuellement choisir l'indicateur n22 si la fiabilité des prévisions de jours indisponibles est un facteur important.

L'indicateur n1 semble le mieux adapté au scénario feu vert, car c'est celui qui délivre les prévisions les plus fiables de jours disponibles (et évite donc mieux l'entrée dans les parcelles en conditions humides). Toutefois on pourra privilégier n2 si l'on craint de rater trop de jours indisponibles.

Les indicateurs n1 et n2 semblent être adaptés tous deux au scénario météo du labour. Toutefois n1 manquera moins de jours indisponibles alors que n2 manquera moins de jours disponibles. n1 semble donc à privilégier dans cette problématique de lutte contre le tassement. De plus sa mise en œuvre est plus aisée.

De manière globale les indicateurs avec assimilation ne semblent pas apporter une plus value dans le cadre de la lutte contre le tassement. Ils peuvent toutefois permettre de privilégier la qualité des prévisions ou la détection de jours disponibles.

Le tableau 8 récapitule ces informations : - - correspond à une valeur <60%, - à >60% et <70% ; = à >70% et <80% ; + à >80% et <90% ; ++ à >90%

5.1.3 Résultats par type de sortie

Dans cette partie nous allons étudier l'impact de la couche de sortie sélectionnée sur les résultats obtenus par les indicateurs. Les résultats sont fournis en fonction de la couche de sortie de l'indicateur. Pour chaque couche on moyenne les résultats obtenus avec les différents indicateurs sur les sols et pour les séquences climatiques testés. Les résultats délivrés dans le Tableau 9 sont la moyenne des situations étudiées en fonction de la profondeur de la couche de sortie sélectionnée.

Tableau 9 Performance moyenne des indicateurs en fonction de la couche de sortie

Sans restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
H0005	87%	68%	71%	84%	78%	H0005	71%	64%	52%	85%	64%
H0015	87%	70%	81%	76%	83%	H0015	78%	60%	75%	74%	69%
H0030	91%	58%	81%	69%	84%	H0030	87%	43%	81%	63%	77%

Dans le test avec et sans restriction, on constate qu'avec l'augmentation de la profondeur de la couche de sortie on améliore la précision. Cette augmentation est due à une amélioration de la capacité à caractériser les jours humides. Parallèlement on observe une diminution de la capacité de caractérisation des jours disponibles pour le travail du sol. Il y a donc antagonisme entre spécificité et sensibilité, qui traduit le fait que, en moyenne, on surestime plus les humidités pour les couches profondes.

Tableau 10 Choix des couches de sortie par rapport au scénario envisagé

	Alerte rouge		Feu vert		Météo
	VPP	Psensi	VPN	Pspe	Pre
H0005	- -	=	+	-	-
H0015	=	=	=	-	-
H0030	+	+	-	- -	=

La couche H0030 est celle qui fournit les meilleurs résultats pour un OAD basé sur les scénarios Alerte rouge ou Météo du labour. Dans le cadre du scénario Feu vert la couche H0005 est celle qui fournit les meilleurs résultats.

Le tableau 10 récapitule ces informations : - - correspond à une valeur <60%, - à >60% et <70% ; = à >70% et <80% ; + à >80% et <90% ; ++ à >90%

5.1.4 Résultats en fonction des entrées

Dans cette partie nous allons étudier l'impact du dol, du climat et du seuil choisi sur les résultats obtenus par les indicateurs. Les résultats seront donc fournis en fonction des différentes entrées. Les entrées représentent en fait les objets d'étude de l'indicateur.

➤ En fonction du sol étudié.

Les résultats présentés dans le Tableau 11 sont les moyennes des différentes situations étudiées pour chaque sol. Cela permet d'observer les différences de résultats en fonction du sol sur lequel on applique l'indicateur dans le cadre de l'OAD.

Tableau 11 Performance moyenne des indicateurs en fonction du sol étudié

Sans restriction	PSensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
Alp1	94%	33%	82%	56%	82%	Alp1	83%	43%	72%	54%	69%
Alp5	85%	84%	91%	65%	85%	Alp5	69%	84%	76%	68%	76%
Col	92%	88%	98%	71%	93%	Col	77%	87%	97%	69%	83%
Mar	69%	61%	57%	82%	69%	Mar	66%	55%	50%	81%	63%
Mex	84%	80%	87%	86%	83%	Mex	77%	74%	85%	85%	81%
Mon	93%	57%	90%	58%	87%	Mon	79%	58%	76%	58%	74%
Poi	100%	51%	39%	100%	73%	Poi	100%	10%	44%	100%	49%

On remarque pour l'analyse restrictive, comme pour l'autre, une hétérogénéité en terme de performance. Les sols Mar et Poi et Alp1 obtiennent des résultats, en terme de précision, plus faibles que les autres sols. Cela est dû à une moins bonne capacité des indicateurs à caractériser les jours disponibles. Ces trois sols ont un taux d'argile important (cf. 4.2) qui leur confère une faible conductivité hydraulique.

Pour Poi le taux de sensibilité de 100% associé à une spécificité de 10% témoigne que l'indicateur surestime largement les taux d'humidité.

Pour le sol Mar la faible spécificité est associée à une faible sensibilité.

On remarque l'hétérogénéité des résultats en fonction des sols et les faibles résultats obtenus par les sols argileux.

➤ en fonction du climat

Les résultats présentés dans Tableau 12 sont issus de la moyenne des résultats des situations étudiées pour le climat d'Avignon et de Mons. Cela permet d'observer l'effet des dynamiques de précipitation sur les critères étudiés.

Tableau 12 Performance moyenne des indicateurs en fonction du climat étudié

Sans restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
AV	87%	76%	71%	82%	82%	AV	79%	62%	65%	80%	71%
MO	90%	52%	84%	68%	81%	MO	79%	50%	77%	68%	68%

On observe que les indicateurs caractérisent moins bien les jours disponibles sous le climat de Mons. La plus forte précision pour le climat de Mons est simplement due à une plus forte prévalence sous ce climat.

Les indicateurs ont permis de mieux caractériser les jours disponibles sous le climat d'Avignon que celui de Mons. Cela témoigne de la difficulté de caractériser les situations sèches sous le climat océanique de Mons.

➤ en fonction du seuil de décision

Les résultats présentés dans le Tableau 13 sont issus la moyenne des situations en fonction du seuil de décision choisi, c'est-à-dire égale à la capacité au champ (Seuil), inférieur de 10% à la capacité au champ (Seuil-10) ou supérieur de 10% à la capacité au champ (Seuil+10).

Cela permet d'évaluer la pertinence des indicateurs en fonction des gammes d'humidité choisies.

Tableau 13 Performance des indicateurs en fonction du seuil de décision

Sans restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
Seuil-10	91%	56%	84%	69%	85%	Seuil-10	78%	52%	75%	69%	73%
Seuil	89%	73%	75%	82%	83%	Seuil	80%	59%	70%	77%	72%
Seuil+10	85%	68%	73%	79%	77%	Seuil+10	78%	58%	66%	78%	65%

Que ce soit pour le test avec ou sans restriction on observe une diminution de la précision avec l'augmentation du seuil de décision, qui est due à une modification de la prévalence.

Il semble que l'on caractérise mieux les jours indisponibles au seuil +10 et au seuil et aussi bien les jours indisponibles.

Pour les trois seuils, la capacité à détecter des jours disponibles est proche. On obtient une meilleure capacité à détecter les jours disponibles au Seuil et Seuil+10 qui semble être compensée par le fait qu'avec la montée en gamme d'humidité on perd des jours disponibles. Au final, pour les données étudiées, on obtient les meilleurs résultats avec le Seuil et Seuil-10.

5.1.5 Optimisation des indicateurs

Dans la partie résultats bruts de l'ensemble des traitements, la diversité des résultats obtenus a été mise en avant. Dans cette partie optimisation des indicateurs nous étudierons la possibilité d'amélioration des résultats de l'OAD par l'association d'un type d'indicateur à un type de sol ou à un type de sortie.

- indicateurs et types de sol

Les résultats présentés dans le Tableau 14 sont obtenus en moyennant les situations étudiées par indicateur et par type de sol. Cela permet d'observer si certains indicateurs conviennent mieux à certains sols.

Tableau 14 Précisions moyennes des indicateurs en fonction du sol étudié

Sans restriction	n1	n2	n21	n22	Avec restriction	n1	n2	n21	n22
Al1	89%	79%	79%	80%	Al1	82%	64%	65%	63%
Al5	89%	80%	90%	80%	Al5	84%	68%	83%	69%
Col	96%	96%	89%	92%	Col	92%	92%	69%	77%
Mar	56%	75%	72%	72%	Mar	48%	73%	64%	65%
Mex	92%	85%	85%	72%	Mex	88%	84%	85%	69%
Mon	87%		76%	94%	Mon	65%		63%	89%
Poi	67%	77%	74%	75%	Poi	42%	53%	50%	50%

Pour les tests avec ou sans restriction les résultats de précision pour l'indicateur n1 sont supérieurs pour tous les sols hormis Mar et Poi. Pour ces deux sols argileux la technique d'assimilation permet un gain important de performance.

L'indicateur n1 semble être le mieux adapté à la prévision de la teneur en eau dans le cadre de l'utilisation d'un OAD. Cependant la technique d'assimilation semble être adaptée principalement aux sols argileux. Toutefois elle permet aussi à un niveau global d'éviter des résultats trop faibles

- indicateur et type de sortie

Les résultats présentés dans le Tableau 15 sont délivrés pour chaque indicateur en fonction de la sortie. Les résultats présentés sont obtenus en moyennant les situations étudiées par indicateur et sortie.

Tableau 15 Performances moyennes des indicateurs en fonction de la couche de sortie sélectionnée

Sans restriction		Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	Avec restriction		Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
N1	H0005	97%	65%	69%	93%	82%	n1	H0005	84%	59%	50%	93%	67%
N1	H0015	96%	57%	77%	84%	82%	n1	H0015	92%	45%	72%	80%	70%
N1	H0030	98%	42%	79%	78%	83%	n1	H0030	96%	28%	79%	71%	77%
N2	H0005	80%	73%	77%	84%	79%	n2	H0005	64%	70%	60%	86%	70%
N2	H0015	82%	77%	85%	73%	83%	n2	H0015	69%	68%	77%	71%	68%
N2	H0030	88%	54%	80%	71%	83%	n2	H0030	85%	42%	81%	65%	78%
N21	H0005	83%	68%	68%	81%	76%	n21	H0005	57%	63%	46%	81%	58%
N21	H0015	80%	79%	83%	70%	83%	n21	H0015	70%	70%	80%	68%	70%
N21	H0030	85%	65%	82%	57%	83%	n21	H0030	80%	50%	83%	49%	75%
N22	H0005	85%	65%	70%	79%	73%	n22	H0005	74%	62%	54%	80%	61%
N22	H0015	87%	69%	81%	78%	82%	n22	H0015	78%	59%	72%	77%	67%
N22	H0030	92%	70%	82%	73%	87%	n22	H0030	87%	54%	81%	68%	78%

On remarque, dans le test restrictif qui contraste plus les résultats, que la précision augmente pour tous les indicateurs avec l'augmentation de la profondeur de la couche de sortie. Cette augmentation provient d'une augmentation de la sensibilité, mais qui se fait au détriment de la spécificité. Les résultats de la partie Résultat par type de sortie se confirment donc, pour tous les indicateurs testés. L'indicateur n22 qui utilise la technique d'assimilation à l'aide de mesures sur la couche sur 0-20cm est celui qui permet la meilleure exploitation de la couche H0030. Cet indicateur est également celui qui obtient la meilleure spécificité sur cette couche.

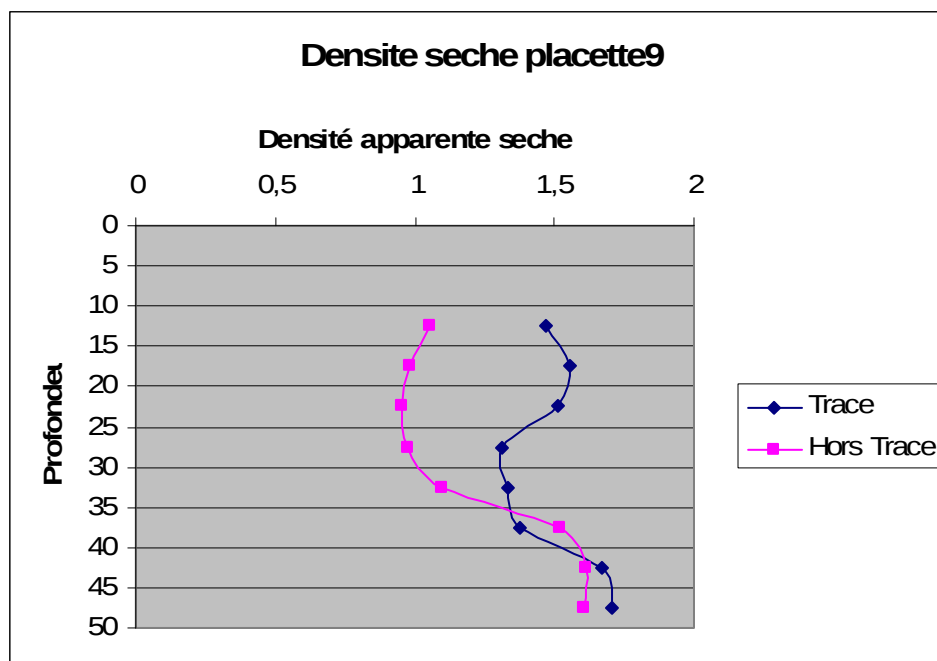
La couche H0030 est celle qui fournit les meilleurs résultats pour détecter les jours indisponibles et ce pour tous les indicateurs. Elle permet, dans les conditions de l'évaluation, de fournir les meilleurs résultats en terme de précision. Parmi les indicateurs utilisant la technique d'assimilation, n22 est celui qui obtient les meilleurs résultats.

5.2 Résultat de l'expérimentation.

5.2.1 Résultat de l'expérimentation tassement de sol :

La variabilité d'humidité intra parcellaire attendue a été relativement faible (cf. Annexe Ap 49 Tableau 6). L'expérimentation n'a donc pas permis d'observer de variation de tassement liée à la variation d'humidité. Cependant le tassement observé permet de conclure (d'après avis d'expert) que pour la charge appliquée le seuil d'humidité était suffisamment élevé pour permettre un tassement important (cf. Annexe Ap 50-51 Figures 5, 6 et 7 ; Figure 11).

Figure 11 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol. Placette 9



L'humidité mesurée au champ a permis d'observer un tassement important dû au passage du tracteur. Par conséquent pour évaluer l'outil nous utiliserons ce seuil de décision. Le seuil de décision utilisé sera donc 23% d'humidité volumique.

5.2.2 Résultats de l'évaluation des indicateurs :

Les données simulées ont été comparées aux relevés effectués à l'aide de la sonde à neutron. Le seuil de décision choisi d'après la manipulation « tassement » a lui aussi été modulé de + ou – 10% de sa valeur afin d'explorer une gamme d'humidité plus large.

Les résultats issus de cette évaluation portent uniquement sur 8 points. La simulation n'a pas pu être effectuée sur plus de points car les périodes de sols nus sont courtes et le pas de temps employé pour les relevés est long (une semaine).

➤ Résultat pour l'ensemble des situations étudiées :

L'ensemble des situations obtenues figure en Annexe (cf. Annexe Ap52 Tableau 7). Les précisions obtenues s'étalent de 25 à 100% selon les situations. Sur les 36 situations étudiées 7 obtiennent un score de précision de 25%, 27 des situations obtenant un score de précision supérieur ou égal à 75%.

On note donc ici aussi une forte variabilité des résultats.

➤ Résultats obtenus par les différents indicateurs

Le Tableau 16 dresse les résultats obtenus par les différents indicateurs. Ces résultats sont issus de la moyenne de neuf situations : seuil-10%, seuil et seuil+10% pour chacune des trois sorties étudiées.

Tableau 16 Performances moyennes des indicateurs obtenues lors de l'expérimentation

	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
n1	100%	0%	67%		67%
n2	100%	56%	68%	100%	69%
n21	100%	56%	68%	100%	69%
n22	84%	94%	94%	56%	83%

On remarque que l'indicateur n1 obtient un résultat médiocre. En effet il caractérise tous les jours indisponibles mais aucun disponible, ce qui reflète qu'il surestime largement les humidités. On remarque que les indicateurs qui utilisent l'assimilation atténuent ce phénomène (cf Annexe Figure 8 p53). L'indicateur n22 permet d'obtenir de bons résultats.

➤ Résultats obtenus par les indicateurs en fonction des sorties sélectionnés

Le Tableau 17 présente les résultats obtenus pour les 36 situations en fonction de la profondeur de la couche de sortie. Les résultats sont issus de la moyenne des résultats obtenus pour les différentes situations de l'expérimentation en fonction de la couche de sortie.

Tableau 17 Performance moyenne des indicateurs, en fonction de la couche de sortie, obtenues lors de l'expérimentation

	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre
H0010	100%	7%	43%	100%	47%
H0020	95%	25%	75%	50%	71%
H0030	93%	25%	94%	17%	88%

On observe une augmentation de la précision fournie par l'indicateur avec l'augmentation de la profondeur de la couche de sortie. Ici la précision varie entre 47% et 88% en fonction de la couche choisie. Cette différence de précision est également l'expression de l'augmentation de la capacité à détecter des jours disponibles. On peut remarquer qu'il y a peu de différence entre la couche H0020 et H0030 puisque pour ces deux couches les indicateurs présentent des capacités de détection quasi identiques (même légèrement meilleures pour H0020). La différence entre la précision de ces deux couches provient du fait que pour la couche H0030 on a plus de jours indisponibles.

L'expérimentation semble confirmer les tendances observées lors de l'évaluation effectuée à l'aide de valeurs de références. Ainsi l'indicateur avec assimilation semble apporter une amélioration de la précision pour ce sol argileux où le modèle a tendance à surestimer l'humidité. De même les couches les plus profondes semblent apporter de meilleurs résultats que la couche superficielle. Cependant le peu de points disponibles limitent la portée de l'analyse.

5.3 Résultats obtenus avec la méthode ROC.

5.3.1 Résultats obtenus avec les données de référence simulées.

➤ Résultats par type de sol

Les résultats présentés dans le Tableau 18 proviennent des moyennes des différentes situations étudiées pour chaque sol.

Tableau 18 AUC moyenne en fonction du sol - pour tous indicateurs

Sans restriction	AUC	Avec restriction	AUC
Alp1	96%	Alp1	84%
Alp5	99%	Alp5	98%
Col	96%	Col	96%
Mar	77%	Mar	71%
Mex	98%	Mex	97%
Mon	91%	Mon	85%
Poi	99%	Poi	97%

On remarque que certains sols obtiennent des résultats inférieurs aux autres, notamment Mar et dans une moindre mesure Alp1 et Mon. Cela signifie que pour ces sols les indicateurs ne pouvaient pas atteindre un niveau de performance aussi élevé que pour les autres sols.

Par contre on observe que l'on peut nettement améliorer les résultats sur le sol Poi.

Cela traduit le fait que pour le sol Poi les indicateurs sont biaisés par rapport aux données de référence (cf. Figure 7). Il est donc possible d'obtenir de bons résultats en prenant un seuil de décision pour l'indicateur qui tienne compte de ce biais. Par contre pour le sol Mar les valeurs fournies par indicateurs ne sont pas aussi bien corrélées avec les valeurs de référence (cf. figure 8). Par conséquent il ne sera pas possible d'obtenir d'aussi bons résultats même en utilisant un seuil de décision idéal.

Les sols Mon, Mar, Poi et Alp1 sont les quatre sols pour lesquels on a au moins une couche de sol avec une teneur en argile supérieur à 25%.

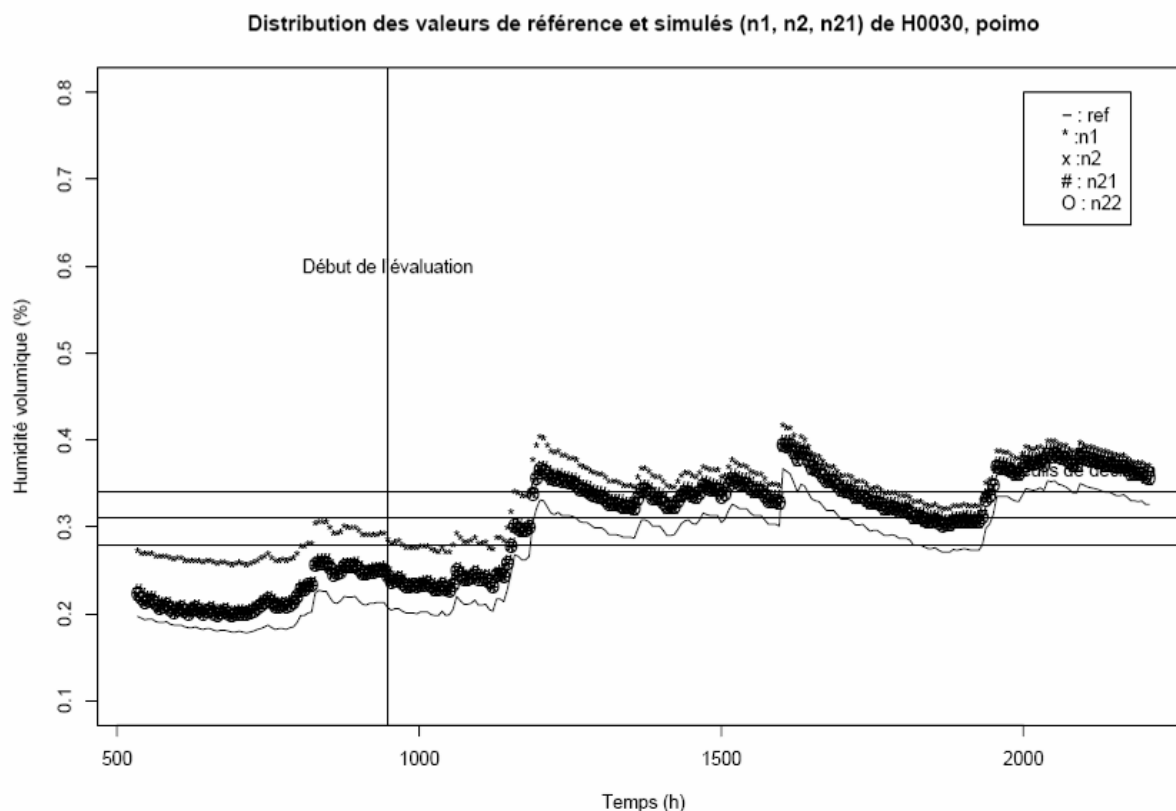


Figure 12 Distribution des valeurs de références et des valeurs d'indicateurs pour le sol Poi (climat Mons, couche H0030)

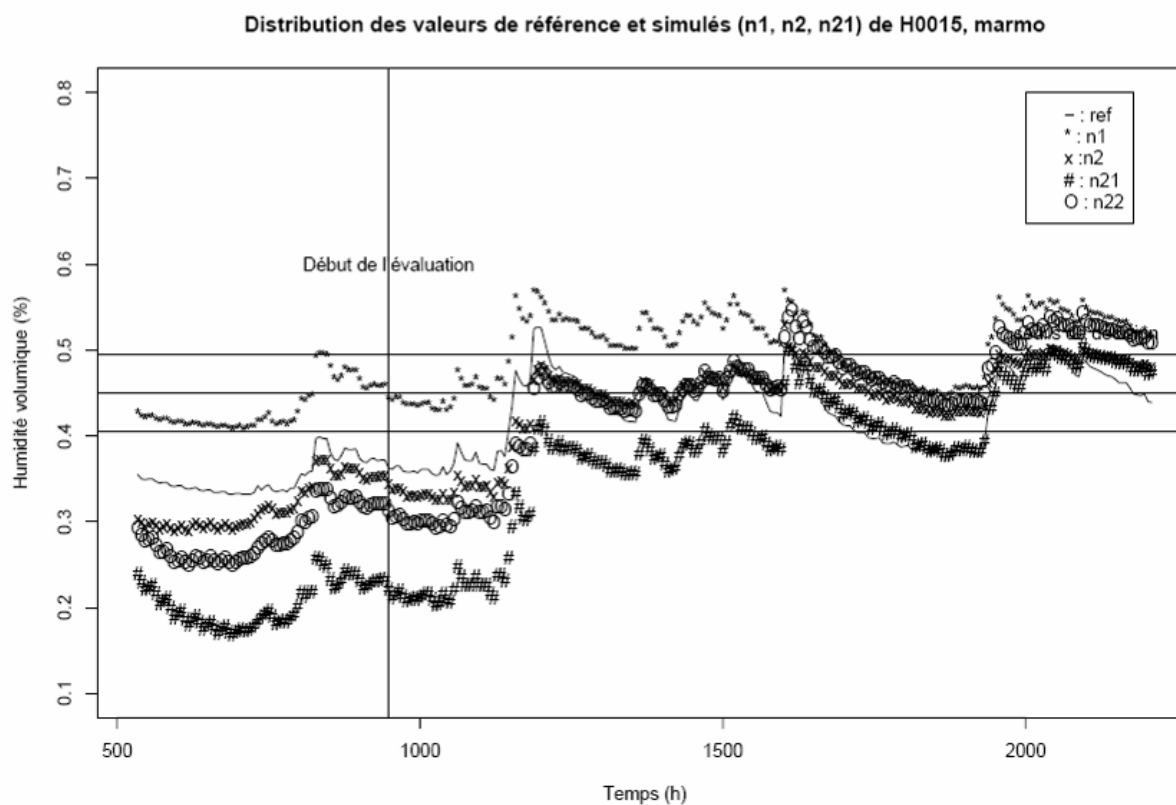


Figure 13 Distribution des valeurs de références et des valeurs d'indicateurs pour le sol Mar (climat Mons, couche H0030)

➤ Résultats par type d'indicateur

Les résultats présentés sont issus de la moyenne des différentes situations étudiées avec chaque indicateur.

Tableau 19 AUC moyennes des indicateurs - Tous les sols inclus

Sans restriction	AUC	Avec restriction	AUC
n1	92%	n1	90%
n2	96%	n2	93%
n21	93%	n21	88%
n22	94%	n22	90%

On remarque des AUC très élevées pour les trois indicateurs (cf. Tableau 19). Cela signifie donc que tous les indicateurs peuvent être très performants. Il faut pour cela ajuster le seuil de décision. On note également que l'indicateur n2 obtient un score légèrement supérieur aux autres, ce qui traduit un potentiel de performance légèrement supérieur dans des conditions idéales d'utilisation (seuil de décision optimal).

➤ Résultats par type de sortie

Les résultats sont fournis en fonction de la couche de sortie de l'indicateur. Pour chaque couche on moyenne les résultats obtenus avec les différents indicateurs sur les sols et pour les séquences climatiques testées.

Tableau 20 AUC moyennes en fonction de la couche de sortie

Sans restriction	AUC	Avec restriction	AUC
H0005	94%	H0005	88%
H0015	94%	H0015	91%
H0030	94%	H0030	92%

On remarque que la couche superficielle H0005 exprime un potentiel de performance légèrement inférieur à celui exprimé par les deux autres couches (cf. Tableau 20).

➤ Résultat par type de climat

Les résultats présentés dans le Tableau 21 sont la moyenne des résultats des situations étudiées pour le climat d'Avignon et de Mons.

Tableau 21 AUC moyennes en fonction du climat

Sans restriction	AUC	Avec restriction	AUC
AV	94%	AV	90%
MO	93%	MO	90%

On observe que le climat n'a pas d'influence sur le potentiel de performance des indicateurs.

➤ **Résultat en fonction du seuil**

Les résultats présentés (cf. Tableau 22) sont issus de la moyenne des situations en fonction du seuil de décision choisi, c'est-à-dire égal à la capacité au champ (Seuil), inférieur de 10% à la capacité au champ (Seuil-10) ou supérieur de 10% à la capacité au champ (Seuil+10).

Tableau 22 AUC moyennes en fonction du seuil d'entrée dans la parcelle

Sans restriction	AUC	Avec restriction	AUC
Seuil-10	95%	Seuil-10	90%
Seuil	95%	Seuil	90%
Seuil+10	92%	Seuil+10	91%

On remarque que le choix du seuil n'a pas d'influence sur le potentiel de performance des indicateurs.

5.3.2 Résultats obtenus avec les données de référence expérimentales.

➤ **Résultats par type d'indicateur**

Les résultats présentés dans le Tableau 23 sont issus de la moyenne des différentes situations étudiées avec chaque indicateur.

Tableau 23 AUC moyennes en fonction de l'indicateur

	AUC
n1	100%
n2	100%
n21	100%
n22	99%

On remarque une AUC proche de 100% pour les trois indicateurs. Cela signifie qu'en sélectionnant le seuil de décision optimal pour chacun des indicateurs on peut obtenir une sensibilité et spécificité de

100%. Ceci reflète la bonne corrélation entre les indicateurs et la référence, les résultats médiocres obtenus pour n_1 , n_2 et n_{21} provenant donc d'un biais.

6 Discussion et perspectives

6.1 Discussion

Les indicateurs ne présentent pas le même comportement lors des différentes simulations. On a vu précédemment que les indicateurs n2, n21 et n22 avaient pour effet une augmentation de la spécificité et une diminution de la sensibilité. Cela traduit le fait que les simulations n2x apportent une correction favorable à la simulation lorsque celle-ci surestime l'humidité. Dans le cas de Poi (cf graph Annexe Ap53) comme dans le cas de l'expérimentation (cf graph Annexe Ap53) cette tendance est nettement visible. Toutefois la correction reste insuffisante dans le cas Poi pour obtenir de bons résultats. Une hypothèse est que la surestimation particulièrement forte pour n1 peut venir du fait que la fonction de pédotransfert de Wosten est mal adaptée à ces types de sol.

Dans d'autres cas comme Alp1 ou Mon seul un indicateur parmi quatre permet d'obtenir de bons résultats. Dans le cas de Mons il s'agit de n22 alors que dans celui de Alp1 il s'agit de n1.

La figure 14 illustre le fait que pour les sols à fortes teneurs en argile les indicateurs fonctionnent en moyenne moins bien. Le lien de corrélation est faible. Toutefois si l'on retire du nuage de points le sol qui représente le sol Poi on obtient un $R^2=0,88$. Il serait donc intéressant d'étudier plus de sols pour approfondir cette hypothèse de

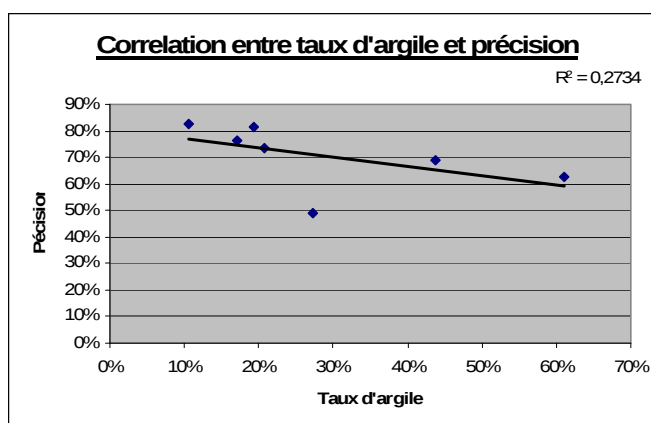


Figure 14 Précision moyenne des indicateurs en fonction du taux d'argiles.

lien.

Nous avons également vu que la couche superficielle est plus difficile à caractériser

cela peut être dû au fait que sa dynamique hydrique est plus complexe. En effet, en observant les simulations (cf graphs Ap54) on s'aperçoit que les variations d'humidités sont plus faibles et moins fréquentes. Cela peut s'expliquer par un effet d'inertie des couches plus profondes dû au fait que le volume de sol est plus important et moins sollicité par les effets climatiques tel que le rayonnement ou le vent.

6.2 Perspectives.

- La technique d'assimilation variationnelle peut permettre une meilleure adéquation entre les valeurs simulées et les valeurs de références. Cependant compte tenu de la remarque précédente qui traduit le fait que dans de nombreux cas il peut exister un biais (décalage permanent entre les valeurs simulées et de référence) il peut être judicieux d'étudier la possibilité d'une assimilation séquentielle. A la différence de la technique d'assimilation variationnelle qui contraint le modèle à passer par toutes les informations disponibles sur une période donnée (cf schéma) la technique d'assimilation séquentielle corrige les variables d'état lorsqu'une observation se présente (Nguyen Van, 2006). Cette dernière méthode permet donc d'aligner la valeur simulée sur la valeur de référence (ce qui revient à réduire le biais) au lieu de corriger les coefficients pour les faire converger vers une valeur (ce qui modifie les coefficients du modèle et risque de diminuer la corrélation entre indicateur et référence).
- Nous venons d'évaluer l'utilisation d'un modèle comme indicateur dans le cadre d'un OAD. Cependant il pourrait être possible de relativiser ces résultats en évaluant l'utilisation d'une sonde de mesure, qui elle aussi fournit une valeur qui peut être biaisée ou faussée.
- De même il peut être intéressant de comparer cet OAD au système de décision des agriculteurs. Une réflexion dans ce sens a été commencée durant le stage. La piste d'une modélisation de leur système de décision basée sur les index pluviométriques et les avis d'expert a été explorée.
- On a vu que les indicateurs peuvent être améliorés par le choix d'un seuil de décision de l'indicateur adapté à la situation étudiée. La détermination de ce seuil en fonction de la situation est donc une voie d'amélioration.
- L'outil est basé sur le concept de seuil et de valeur limite d'humidité. Cela suppose qu'il existe aussi des effets de seuil du tassement qui sont déterminés par l'humidité ou que l'on peut fixer des limites à ce continuum. S'il n'y a pas de réel effet de seuil du tassement on peut relativiser l'effet des erreurs commises par l'OAD.

7 Conclusion

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer quatre indicateurs proposés comme OAD, tous issus du modèle TEC. Ces quatre indicateurs mettent en jeu des conditions opérationnelles différentes. L'indicateur n1 est le plus simple à mettre en place, il utilise la fonction de pédotransfert de Wosten afin de caractériser les sols étudiés. Pour les indicateurs n2, n21, et n22, on utilise en plus un processus d'assimilation qui permet d'ajuster le modèle avec des relevés d'humidité. Pour l'indicateur n1 cet ajustement (ou calage) s'effectue sur quatre paramètres du modèle, le temps de calcul est donc important. Pour n21 et n22 l'assimilation s'effectue seulement sur deux paramètres. L'indicateur n21 (comme n2) est ajusté à l'aide de relevés d'humidité de surface effectués sur la couche 0-5cm ; n22 est lui ajusté à l'aide de relevés sur la couche 0-20cm.

Deux méthodes ont été employées afin d'évaluer ces indicateurs en tant qu'OAD : les 'statistical prediction rules' et la méthode ROC. L'évaluation s'est faite sur deux jeux de données de référence : l'un simulé par le modèle et l'autre obtenu par expérimentation. .

Ainsi « les statistical prédiction rules » ont permis de mettre en avant que l'indicateur n1 est plus adapté globalement pour les sols testés dans le cadre de la prévention du tassement. Toutefois si les indicateurs qui emploient la technique d'assimilation (n2, n21 et ,22) ne sont pas les plus performants, ils permettent d'éviter des résultats qui peuvent être très médiocres dans certaines situations, comme en témoigne l'expérimentation. En effet les indicateurs n2, n21 et n22 semblent être plus adaptés aux sols argileux qui posent le plus de problèmes. Parmi ces trois indicateurs n2 est celui qui fournit les meilleurs résultats, il semble donc que le calage de quatre paramètres apporte une plus value. De même n22 obtient des meilleurs résultats que n21, ce qui laisse à penser qu'un calage sur la couche 0-20cm est plus approprié qu'un calage sur la couche 0-5cm.

En complément, la méthode ROC a permis de mettre en avant que tous les indicateurs testés pouvaient obtenir de bons résultats à condition de choisir un seuil de décision adapté à la situation. Il semble que ce soit dans la plupart des cas le facteur limitant de la performance des indicateurs.

Cette étude a donc permis un diagnostic de l'utilisation des indicateurs dans le cadre de l'OAD. On a pu constater la complémentarité entre les deux méthodes (ROC et «statistical prediction rules ») et les résultats obtenus à l'aide des simulations ont pu être confirmés par l'expérimentation. Les résultats obtenus à l'aide de cette démarche semblent pertinents. Il semble que les indicateurs puissent être utilisés dans le cadre de l'OAD. Cependant pour cela il faut arriver à maîtriser la variabilité des résultats. Trois moyens sont envisageables pour cela : arriver à caractériser les sols qui posent problème et les exclure du plan de prévention, tenter d'améliorer la technique d'assimilation en employant l'assimilation séquentielle au lieu d'utiliser l'assimilation variationnelle ou travailler sur la détermination de seuil de décision spécifique aux situations étudiées.

Table des illustrations.

Tableau 1 Répartition de la population étudiée à l'aide d'un indicateur au sein de quatre cas.	15
Tableau 2 Récapitulatif des avantages et limites des différents types de tests.....	19
Tableau 3 Figure 11 Principales hypothèses faites dans le modèle TEC (Chanzy, 1991).....	23
Tableau 4 Récapitulatifs des caractéristiques des sols utilisés pour les simulation	26
Tableau 5 Récapitulatif de la construction des indicateurs	28
Tableau 6 Performance des indicateurs.....	33
Tableau 7 Performance des indicateurs - les sols Mon et Mex n'étant pas pris en compte.....	33
Tableau 8 Choix des indicateurs par rapport au scénario envisagé.....	34
Tableau 9 Performance moyenne des indicateurs en fonction de la couche de sortie	35
Tableau 10 Choix des couches de sortie par rapport au scénario envisagé.....	35
Tableau 11 Performance moyenne des indicateurs en fonction du sol étudié	36
Tableau 12 Performance moyenne des indicateurs en fonction du climat étudié	37
Tableau 13 Performance des indicateurs en fonction du seuil de décision.....	37
Tableau 14 Précisions moyennes des indicateurs en fonction du sol étudié.....	38
Tableau 15 Performances moyennes des indicateurs en fonction de la couche de sortie sélectionnée	39
Tableau 16 Performances moyennes des indicateurs obtenues lors de l'expérimentation	41
Tableau 17 Performance moyenne des indicateurs, en fonction de la couche de sortie, obtenues lors de l'expérimentation	42
Tableau 18 AUC moyenne en fonction du sol - pour tous indicateurs	43
Tableau 19 AUC moyennes des indicateurs - Tous les sols inclus	45
Tableau 20 AUC moyennes en fonction de la couche de sortie.....	45
Tableau 21 AUC moyennes en fonction du climat	46
Tableau 22 AUC moyennes en fonction du seuil d'entrée dans la parcelle	46
Tableau 23 AUC moyennes en fonction de l'indicateur.....	46
Figure 1 Variation du ratio de compaction en fonction de l'humidité, pour différents sols.....	5
Figure 2 Schématisation des niveaux de risques liés à l'indicateur teneur en eau dans le contexte de l'aide à la décision.	8
Figure 3 Exemple d'un graphique model prédiction versus données observées.....	11
Figure 4 Exemple de graphique avec données mesurées et prédites versus temps.....	12
Figure 5 Exemple de graphique représentant les résidus en fonction du temps.....	13
Figure 6 Exemple de "probability test" (extrait de Bockstaller and Girardin, 2003).....	14
Figure 7 Représentation de la construction d'une courbe ROC.....	17
Figure 8 Courbe ROC représentant un indicateur parfait.....	18
Figure 9 Courbe ROC représentant un indicateur non informatif.....	18
Figure 10 Représentation schématique du modèle TEC (Chanzy, 1991)	22
Figure 11 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol. Placette 9	40
Figure 12 Distribution des valeurs de références et des valeurs d'indicateurs pour le sol Poi (climat Mons, couche H0030).....	44
Figure 13 Distribution des valeurs de références et des valeurs d'indicateurs pour le sol Mar (climat Mons, couche H0030).....	44

Bibliographie

Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé, 2002. Construction et utilisation des indicateurs dans le domaine de la santé. Principes généraux; 39p.

Disponible sur : http://www.sfm.org/documents/consensus/recom_indic_sante.pdf (consulté le 26/03/2007)

Arvidsson Johan, Sjöberg Erika and van den Akker Jan J. H., 2003. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: III. Risk assessment using a soil water model. *Soil and Tillage Research*, Volume 73, p. 77-87

Bo Öhlmer, Kent Olson and Berndt Brehmer, 1998. Understanding farmers' decision making processes and improving managerial assistance. *Agricultural Economics*, Volume 18, Issue 3, p. 273-290

Bockstaller C. and Girardin P., 2003. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems*, Volume 76, p. 639-653

Buvat Irene, 2006. Evaluation en imagerie médicale.

http://www.guillemet.org/irene/coursem/coursTTI7_2006.pdf Consulté en ligne le 05/05/2007.

Canillas E. and Salokhe V., 2002. Modeling compaction in agricultural soils. *Journal of Terramechanics*. Volume 39, p. 71-84.

Chanzy A., (1991). Modélisation simplifiée de l'évaporation d'un sol nu utilisant l'humidité et la température de surface accessibles par télédiction. Thèse de doctorat : institut national agronomique de Paris-Grignon, Grignon, 197p.

Commission des Communautés Européennes, 2002. Communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social et au comité des régions. Vers une stratégie thématique pour la protection des sols. Bruxelles, le 16/04/2002, [en ligne]. 39p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm> (consulté le 02/02/2007)

Commission des Communautés Européennes, 2006. Communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social européen et au comité des régions. Stratégie thématique en faveur de la protection des sols. Bruxelles, le 22/09/2006, [en ligne]. 13p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm> (consulté le 25/01/2007)

Commission des Communautés Européennes, 2006. Directive 2004/35/ce du Parlement Européen et du Conseil du 21 avril 2004 sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux, [En ligne], Journal Officiel de la Communauté Européenne, n° L143/56 du 30/04/2006, 11p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm> (consulté le 27/01/2007)

Commission des Communautés Européennes, 2006. Document de travail des services de la commission accompagnant la communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social européen et au comité des régions Stratégie thématique en faveur de la protection des sols. Résumé de l'analyse d'impact. Bruxelles, le 22/09/2006, [en ligne]. 9p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm> (consulté le 23/01/2007)

Commission des Communautés Européennes, 2006. Proposition de directive du parlement européen et du conseil définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE. Bruxelles, le 22/09/2006, [en ligne]. 31p. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm> (consulté le 25/01/2007)

Cox P, 1996. Some issues in the design of agricultural decision support systems *Agricultural Systems*, Volume 52, p. 355-381

Farag M., (2005). Développement d'un logiciel dédié à la prévision de la teneur en des sols. Mémoire de fin d'étude : université d'Avignon et des pays de Vaucluse, Avignon, 133p.

Girardin P., Guichard L., Bockstaller C., 2005. Indicateurs et tableaux de bord: guide pratique pour l'évaluation environnementale. Paris : Tec & Doc : Lavoisier. 32p

Girardin, P; Bockstaller, C; Van der Werf, H, 1999. Indicators: Tools to evaluate the environmental impacts of farming systems, *Journal of Sustainable Agriculture*, Vol. 13, p. 5-21

Goldwin R.J. and Spoor G., 1977. Soil factors influencing work-days. *Agricultural Engineer*, n°32, p.87-90.

Håkansson I. and Lipiec J., 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, Volume 53, p. 71-85

Hamza M.A. and. Anderson W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, Volume 82, p. 121-145

Hand DJ, 1992. Statistical methods in diagnosis. *Statistical Methods in Medical Research*, Volume 1, p. 49-67.

Hanley James A., McNeil Barbara J., 1983. A Method of Comparing the Areas under Receiver Operating Characteristic Curves Derived from the Same Cases. *Radiology*, Vol 148, p.839-843

Hernanz J. L., Peixoto H., Cerisola C., Sánchez-Girón V., 2000. An empirical model to predict soil bulk density profiles in field conditions using penetration resistance, moisture content and soil depth. *Journal of Terramechanics*, Volume 37, p. 167-184.

Hugues, McRoberts, Burnett, 1999. Decision-making and diagnosis in disease management *Plant Pathology* , Volume 48, p. 147–153.

Hughes G. and Madden L. V., 2003. Evaluating predictive models with application in regulatory policy for invasive weeds. *Agricultural Systems*, Volume 76, Pages 755-774

Jackson Laura E, Kurtz Janis C., Fisher William S, 2000. Evaluation guidelines for ecological indicators, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development.

Keller T., Défossez P., Weisskopf P., Arvidsson J., Richard G., 2007. SoilFlex: A model for prediction of soil stresses and soil compaction due to agricultural field traffic including a synthesis of analytical approaches. *Soil and Tillage Research*, Volume 93, p. 391-411

Kirchner James W., Hooper Richard P., Kendall Carol, Neal Colin and Leavesley George, 1996. Testing and validating environmental models. *Science of The Total Environment*, Volume 183, p. 33-47

Kurtz Janis C., Jackson Laura E. and Fisher William S., 2001. Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development. *Ecological Indicators*, Volume 1, p. 49-60

Makowski D., 2006. Exemples d'utilisation de modèles pour optimiser la lutte contre les bioagresseurs, [En ligne], Thiverval-Grignon : Inra, 28p.

Disponible sur :

http://zongo.toulouse.inra.fr/~nathalie/public/misesEnLigneModelia/060904_journeeProtectionCultures/DMakowski_optimisation.pdf (consulté le 01/02/2007)

Makowski D, Taverne M, Bolomier J, Ducarne M, 2005. Comparaison of risk indicators for sclerotinia control in oilseed rape. *Crop Protection*, Volume 24, p. 527-531.

Mayer D. G. and Butler D. G., 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling*, Volume 68, p. 21-32

Medvedev V. and W. Cybulko G., 1995. Soil criteria for assessing the maximum permissible ground pressure of agricultural vehicles on Chernozem soils; *Soil and Tillage Research*, Volume 36, p. 153-164

Ministere de l'Ecologie et du Developpement Durable, Agence de L'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, 2006. Programme GESSOL de la recherche sur les sols a la décision publique. Paris, Colloque de valorisation des travaux 21 et 22 novembre 2006. [En ligne], 59p. Disponible sur : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/DP_GESSOL_2006.pdf (consulté le 05/02/2007)

Mac Kirby, 2007. Whither soil compaction research? *Soil and Tillage Research*, Volume 93, Issue 2, p. 472-475

Metz C.E, 2006. Receiver Operating Characteristic Analysis: A Tool for the Quantitative Evaluation of observer Performance and Imaging Systems, *American College of Radiology*

Meynard Jean-Marc, Cerf Marianne, Guichard Laurence, Jeuffroy Marie-Hélène and Makowski David, 2002. Which decision support tools for the environmental management of nitrogen? *Agronomie*, Volume 22, p 817-829

Mumem M., (2006). Caractérisation du fonctionnement hydrique des sols a l'aide d'un modèle mécaniste de transfert d'eau et de chaleur mis en œuvre en fonction des informations

disponibles sur le sol. Thèse de doctorat : université d'Avignon et des pays de Vaucluse, Avignon, 155p.

Murtaugh Paul and Pooler Penelopes, 2006. Evaluating ecological indicators: lakes in the northeastern united states. *Environmental Monitoring and Assessment* , Volume 119, p. 83–96

Nguyen Van M.I., (2006). Assimilation de données d'humidité dans un modèle de transfert hydrique. Mémoire de fin d'étude : université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 34p.

Turner David A., 1978. An Intuitive Approach to Receiver Operating Characteristic Curve Analysis. *Journal of Nuclear Medicine*, Vol 19, p.213-220.

Primot s, Valantin-morison m, Makowski d, 2006. Predicting the risk of weed infestation in winter oilseed rape crops. *Weed Research*. Volume 46, p. 22–33.

Richard Guy, 2006. Dégénération physique des Sols agricoles et forestiers liée au Tassement (DST) : impact, prévision, prévention, suivi, cartographie (Projet en cours). Disponible sur : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Resume_Richard.pdf (consulté le 15/03/2007)

Sullivan Pepe Magarett, 2003. The statistical evaluation of medical tests for classification and prediction. Nex-York: Oxford university press, 302p

Van den Akker J. J. H., Arvidsson J. and Horn R., 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union . *Soil and Tillage Research*, Volume 73, Issues 1-2, p. 1-8.

Wallach D., Goffinet B., 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological Modelling*, n°44, p. 299–306

Wallach Daniel, Makowski David et Jones Jim, 2006. Working with dynamic crop models : Evaluating, analyzing, parameterizing & using them. Elsevier Ed., 450p.

Waltera S.D., Sinuff T, 2007. Studies reporting ROC curves of diagnostic and prediction data can be incorporated into meta-analyses using corresponding odds ratios. *Journal of Clinical Epidemiology*, Vol 60, p.530-534

Zweig' Mark H. and Campbell Gregory; 1993 Receiver-Operating Characteristic (ROC) Plots: A Fundamental Evaluation Tool in Clinical Medicine. *Clinical Chemistry*, Vol. 39, p.561-577.

Zolghadri Mansoor J. and Mansoori Eghbal G., 2007. Weighting fuzzy classification rules using receiver operating characteristics (ROC) analysis. *Information Sciences*, Volume 177, Pages 2296-2307

Sommaire

Sommaire	1
Introduction	2
Méthode de l'étude.....	3
Les indicateurs testés.....	3
La méthode d'évaluation employée.	3
Les critères utilisés pour l'évaluation :	4
Résultats	5
Capacité des indicateurs à s'adapter à différents seuils et couches de sol	5
Capacité des indicateurs à s'adapter à différentes conditions pédoclimatiques	6
Performance des indicateurs.....	7
Conclusion des résultats	8
Perspectives de développement.....	9
Discussion.	10
Conclusion.....	11
Table des illustrations.....	12

Introduction.

Le présent document a pour objectif de synthétiser les résultats et perspectives obtenus dans le cadre du stage de fin d'études et présentés dans le document principal du mémoire « Evaluation d'un indicateur basé sur la prévision de la teneur en eau par le modèle TEC dans le cadre d'un outil d'aide à la décision pour le déclenchement de l'intervention de travail du sol. ». Pour toutes précisions sur le contexte de l'étude, la démarche méthodologique le détail des résultats ou la bibliographie, se reporter à cet ouvrage.

Les résultats présentés concernent l'utilisation du modèle « Transfert d'Eau et de Chaleur » (TEC) afin de construire des indicateurs utilisés dans le cadre d'un outil d'aide à la décision (OAD). L'objectif du travail était l'évaluation de la possibilité d'utiliser les prévisions d'humidité du sol délivrées par le modèle pour décider de la possibilité ou non d'effectuer un travail du sol sur les parcelles. L'évaluation porte sur plusieurs indicateurs qui diffèrent par leur construction (qui implique un niveau de précision différent, et des conditions opérationnelles différentes). Quatre indicateurs sont étudiés afin de déterminer le mode de construction le plus approprié.

Ce travail s'inscrit au sein du projet « dégradations de sols liées au tassement » (DST). Réparti en plusieurs volets et divisé entre plusieurs équipes, ce projet compte notamment pour objectif la détermination de seuils d'humidité limites d'entrée dans la parcelle du matériel agricole en fonction des risques de dégâts (économiques, environnementaux, etc.) liés au tassement. L'équipe a démontré l'importance du taux d'humidité du sol sur le phénomène de tassement et cherche à réguler ce phénomène en évitant les passages d'engins lors des périodes de forte humidité. Ces seuils n'ayant pas encore été déterminés, une gamme d'humidité du sol est explorée. Cela permet d'évaluer la capacité des indicateurs à s'adapter aux seuils qui seront prescrits. De même, puisque la couche de sol à étudier n'est pas encore déterminée l'évaluation porte sur plusieurs couches de sol.

Sept sols couvrants une large gamme de texture sont étudiés (cf. Annexe Ap3 Tableau1) ainsi que deux climats (l'un océanique, l'autre méditerranéen) (cf Annexe Ap7 figure 3 et 4) afin d'évaluer la capacité des indicateurs pour différentes situations pédoclimatiques.

Méthode de l'étude

Les indicateurs testés.

Les quatre indicateurs testés se nomment n1, n2, n21 et n22. L'indicateur n1 est le plus simple à mettre en place, il repose sur une caractérisation simplifiée des sols à l'aide d'une fonction de pédotransfert (Wosten). Pour les indicateurs n2, n21 et n22 cette caractérisation est complétée par des relevés d'humidité de référence qui permettent au modèle d'ajuster ses coefficients. Cet ajustement est effectué à l'aide d'une technique d'assimilation variationnelle. Pour l'indicateur n2 et n21 ces relevés portent sur la couche 0-5cm alors que pour n22 la couche utilisée est 0-20cm. La correction est effectuée pour quatre coefficients dans le cas de l'indicateur n2 (K_s et v de la courbe de conductivité hydraulique et α et n de la courbe de rétention). Dans le cas des indicateurs n21 et n22 l'ajustement s'effectue seulement sur deux coefficients (α et n). Par conséquent le temps de calcul de l'indicateur n2 est supérieur à celui de n21 et n22.

La méthode d'évaluation employée.

Nous avons évalué la capacité d'outils, basés sur les indicateurs, à amener à prendre les mêmes décisions que l'observation d'humidité au champ. Pour cela les prévisions d'humidité fournies par les indicateurs ainsi que les données d'humidité de référence ont été confrontées à des seuils limites d'humidité. Si les indicateurs mènent à la même décision que la donnée de référence alors on considère que l'on est en présence d'un jour bien classé. Les jours disponibles pour le travail du sol sont distingués des jours indisponibles. Les jours disponibles sont définis par le fait que la donnée de référence est inférieure au seuil limite alors que pour les jours indisponibles cette donnée lui est supérieure.

Deux jeux de données de référence sont utilisés, l'un issu d'une simulation et l'autre issu d'un jeu de données expérimentales.

Pour le jeu de données issu de la simulation, une analyse restrictive a été mise en place permettant de sélectionner les points critiques, c'est-à-dire proches du seuil de décision. Cette démarche permet d'ignorer les situations d'humidité élevées et basses, à caractérisation aisée,

et pour lesquelles l'indicateur n'apporte donc pas de plus value. Les données qui figurent dans cette synthèse ne concernent que l'analyse restrictive. Ce type d'analyse n'a pu être fait pour la démarche expérimentale car elle concerne un faible nombre de données.

Tous les chiffres exposés sont des moyennes des différents cas testés en fonction du paramètre considéré.

Les critères utilisés pour l'évaluation :

Afin de procéder à l'évaluation une sélection de critères a été effectuée. Ils permettent de caractériser le comportement des indicateurs. Ces critères sont :

- la précision (Pre), qui permet de déterminer le taux de jours disponibles et indisponibles bien classés par l'indicateur.
- La sensibilité (Psensi), qui permet de déterminer le taux de jours non disponibles pour le travail du sol qui sont détectés en tant que tel par l'indicateur.
- La spécificité (Pspe), qui permet de déterminer le taux de jours disponibles qui sont détectés en tant que tel par l'indicateur.
- La valeur prédictive positive (VPP), qui permet de déterminer le taux de prévisions justes parmi les jours classés par l'OAD comme non disponibles pour le travail du sol.
- La valeur prédictive négative (VPN), qui permet de déterminer le taux de prévision juste parmi les jours classés par l'OAD comme disponibles pour le travail du sol.
- AUC qui permet d'évaluer le potentiel de l'OAD. Ce potentiel est déterminé en explorant une gamme de seuils de décision pour l'indicateur. Il s'agit de déterminer si un seuil de décision parmi la gamme explorée permet d'atteindre une haute valeur de détection des jours disponibles et des jours indisponibles pour le travail du sol.

Résultats

Capacité des indicateurs à s'adapter à différents seuils et couches de sol

Tableau 1 Résultats par couche de sol étudiée- référence simulée

Simulés - Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
H0005	71%	64%	52%	85%	64%	88%
H0015	78%	60%	75%	74%	69%	91%
H0030	87%	43%	81%	63%	77%	92%

Seule la couche de surface semble faire s'exprimer un plus faible potentiel des indicateurs (et des résultats également moindres) (cf. tableau 1). Cette couche semble donc à éviter, sauf si l'on cherche à caractériser les jours disponibles. Cela est dû au fait qu'en moyenne on assiste plus fréquemment à surestimation de l'humidité dans les couches profondes. Entre les couches plus profondes on a donc une meilleure capacité de détection des jours indisponibles pour la couche H0030, qui s'accompagne d'une augmentation de la fiabilité des prédictions des jours disponibles. Cette dernière couche semble donc être la plus adaptée dans un plan de prévention du tassement basé sur l'avertissement de jours indisponibles.

Tableau 2 Résultats par seuil étudié- référence simulée

Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
Seuil-10	78%	52%	75%	69%	73%	90%
Seuil	80%	59%	70%	77%	72%	90%
Seuil+10	78%	58%	66%	78%	65%	91%

Pour les trois seuils étudiés le potentiel de performance est identique (cf. tableau 2). Cependant avec le Seuil -10 on obtient une moins bonne capacité à détecter les jours indisponibles. Cela est compensé par le fait que dans cette gamme d'humidité on est plus souvent en présence de jours indisponibles. Elle permet également d'obtenir un plus fort taux de VPP Au final il ne semble pas décisif de privilégier un des trois seuils.

Capacité des indicateurs à s'adapter à différentes conditions pédoclimatiques

Tableau 3 Résultats par sol étudié- référence simulée

Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC	Teneur moyenne en argiles (0-80cm)
Alp1	83%	43%	72%	54%	69%	84%	44%
Alp5	69%	84%	76%	68%	76%	98%	17%
Col	77%	87%	97%	69%	83%	96%	11%
Mar	66%	55%	50%	81%	63%	71%	61%
Mex	77%	74%	85%	85%	81%	97%	19%
Mon	79%	58%	76%	58%	74%	85%	21%
Poi	100%	10%	44%	100%		97%	27%

On remarque une grande variabilité des résultats en fonction du type de sol (cf. Tableau 3). Il semble notamment que les sols dont la teneur en argile est forte ont des résultats assez faibles. Pour ces sols, comme Alp1, Mar, Mon ou Poi on remarque une sensibilité plus faible. Lorsque elle est associée à une forte sensibilité cela signifie que pour ces sols les indicateurs surestiment largement le taux d'humidité, comme dans le cas de Poi ou Alp1. Cela peut s'observer sur les graphiques où figurent les indicateurs (cf Annexe Ap 53 figures 8). Pour le sol très argileux de Mar il ne s'agit pas uniquement d'un biais comme l'illustre l'AUC mais d'une mauvaise corrélation entre les indicateurs et la référence.

La maîtrise de variabilité des résultats et la capacité à traiter les sols argileux seront des problèmes majeurs pour mise en place de l'OAD.

Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
AV	79%	62%	65%	80%	71%	90%
MO	79%	50%	77%	68%	68%	90%

Le climat d'Avignon a été mieux caractérisé que le climat de Mons. Pour ce dernier il est plus difficile de détecter les jours disponibles. Le climat de Mons a pour conséquences des variations plus fréquentes et de moins forte amplitude et ne permet donc pas d'atteindre des niveaux de performances aussi élevés. Toutefois, il semble que le potentiel de performance ne soit pas inférieur pour ce climat et que la différence réside dans un biais plus important des indicateurs sous ce climat. De plus, comme avec ce type de climat on est plus souvent confronté à des jours non disponibles, la précision des indicateurs n'est pas affectée. Au final, il ne semble pas décisif de privilégier un des deux climats étudiés.

Performance des indicateurs

❖ A l'échelle globale

Tableau 4 Résultats par indicateur étudié- référence simulée

Avec restriction	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
n1	91%	46%	67%	84%	71%	90%
n2	73%	62%	73%	75%	72%	93%
n21	69%	62%	71%	68%	68%	88%
n22	80%	59%	70%	75%	69%	90%

On remarque que les potentiels de performance des quatre indicateurs sont proches (cf. Tableau 4). n2 est l'indicateur qui possède le plus fort potentiel de performance. Il obtient également les meilleurs résultats parmi les indicateurs utilisant l'assimilation. Il n'est donc pas inutile d'effectuer l'ajustement du modèle sur quatre coefficients. On remarque aussi que les résultats et le potentiel de n22 sont supérieurs à ceux de n21. Il peut donc être intéressant d'envisager un indicateur basé sur l'ajustement de quatre coefficients, à l'aide de données d'humidité sur la couche de sol 0-20.

On remarque que même si n1 se comporte, d'une manière générale, mieux que les trois autres indicateurs sa valeur de spécificité est faible. Malgré cela, cet indicateur reste intéressant à exploiter puisque il obtient de bons résultats pour une mise en œuvre opérationnelle simple.

❖ A l'échelle de la parcelle

Tableau 6 Résultats par sol et indicateur étudié- référence simulée

Sol	n1	n2	n21	n22
Alp1	82%	64%	65%	63%
Alp2	84%	68%	83%	69%
Col	92%	92%	69%	77%
Mar	48%	73%	64%	65%
Mex	88%	84%	85%	69%
Mon	65%		63%	89%
Poi	42%	53%	50%	50%

Tableau 5 Résultats par seuil étudié- référence expérimentale – Parcelle Grue B3

	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
n1	100%	0%	67%		67%	100%
n2	100%	56%	68%	100%	69%	100%
n21	100%	56%	68%	100%	69%	99%
n22	84%	94%	94%	56%	83%	100%

On remarque qu'à l'échelle de la parcelle l'emploi systématique de l'indicateur n1 ne permet pas d'atteindre les meilleurs résultats (cf. Tableau 5). Il peut même procurer les résultats les plus faibles sur certains sols difficiles à caractériser comme Mar et Poi. Les indicateurs qui utilisent l'assimilation permettent donc une amélioration des résultats sur ces sols argileux. Si

on les remet dans un contexte d'utilisation plus global, ils permettent d'éviter des résultats très faibles. Ceci est bien illustré par les résultats de l'expérimentation (cf. Tableau 6), effectuée sur un sol argileux, pour lequel n1 n'est pas du tout adapté.

Conclusion des résultats

Les résultats globaux obtenus par les indicateurs semblent assez satisfaisants, surtout au vu du fait qu'ils sont issus de l'analyse restrictive. La plus grande difficulté pour la mise en place d'un OAD basé sur les indicateurs étudiés va donc être la maîtrise de la variabilité des résultats en fonction du type sol. Il semble que les sols argileux soient plus difficiles à caractériser et que pour ceux-là les indicateurs utilisant la technique d'assimilation apportent une plus value. Pour les autres types de sol n1 semble bien adapté malgré une faible capacité de détection des jours disponibles.

Pour le climat et les seuils, les indicateurs arrivent respectivement à mieux caractériser le climat méditerranéen et moins bien le Seuil-10. Toutefois, ces différences ne sont pas extrêmement prononcées et sont gommées par des effets conjoncturels.

En ce qui concerne les couches de sorties, il semble judicieux d'éviter de baser l'OAD sur la couche superficielle H0005. La couche H0030 est celle qui fournit les meilleurs résultats dans les conditions testées.

Perspectives de développement.

Afin d'améliorer la performance des indicateurs plusieurs pistes sont envisageables :

- Tous les indicateurs possèdent un fort potentiel de performance. Cela signifie qu'ils sont fortement corrélés aux valeurs de référence. Les résultats peuvent donc être significativement améliorés en tentant de prendre un seuil de décision de l'indicateur adapté à la situation étudiée, notamment à la parcelle.
- Les indicateurs n2 et n22 obtiennent des résultats supérieurs à n21. Il semble donc que l'ajustement de quatre coefficients et l'assimilation à l'aide de données d'humidité sur 0-20cm soient bénéfiques. Il peut être intéressant de créer un nouvel indicateur combinant ces deux avantages.
- La technique d'assimilation variationnelle employée permet une rectification des coefficients du modèle. Cependant, au vue du fait que la corrélation entre les indicateurs et les données de référence semble correcte, il peut être intéressant de plutôt employer une technique d'assimilation correctionnelle. Celle-ci ne modifie pas les coefficients de modèle mais modifie les variables d'état. Cela peut donc permettre de réduire le biais en modifiant les valeurs d'humidité.
- Il peut aussi être intéressant d'arriver à qualifier les sols qui présentent des « incompatibilités » avec les indicateurs. Cela peut permettre de rechercher une nouvelle voie pour améliorer les indicateurs avec ces sols ou de les disqualifier pour l'utilisation de l'OAD. Le taux d'argile semble pouvoir aider à les qualifier. Il serait toutefois embêtant de les disqualifier puisqu'il s'agit d'une classe de sol facilement atteinte par le tassement.

Discussion.

Nous venons d'évaluer l'utilisation d'un modèle comme indicateur dans le cadre d'un OAD. Cependant, il pourrait être possible de relativiser ces résultats en évaluant l'utilisation d'une sonde de mesure, qui elle aussi fournit une valeur qui peut être biaisée ou faussée.

De même, il peut être intéressant de comparer cet OAD au système de décision des agriculteurs. Une réflexion dans ce sens a été commencée durant le stage. La piste d'une modélisation de leur système de décision basée sur les index pluviométriques et les avis d'expert a été explorée.

L'outil est basé sur le concept de seuil et de valeur limite d'humidité. Cela suppose qu'il existe aussi des effets de seuil du tassement qui sont déterminés par l'humidité ou que l'on peut fixer des limites à ce continuum. S'il n'y a pas de réel effet de seuil du tassement on peut relativiser l'effet des erreurs commises par l'OAD.

Nous avons considéré durant l'analyse restrictive que l'outil apportait une plus value surtout dans les situations où les valeurs d'humidité sont proches du seuil. Il est vrai qu'il semble aisé pour un agriculteur de caractériser un sol à très forte ou très faible valeur d'humidité. Toutefois si l'on reconsidère l'utilisation de l'outil dans un cadre prévisionnel à long terme, alors, il est important de prendre en compte les valeurs ne se situant pas dans les zones critiques d'humidité.

Dans cet objectif prévisionnel il serait également intéressant de tester les indicateurs à l'aide des prévisions météorologiques plutôt que des relevés.

Lors de la mise en place d'un indicateur il est possible de compenser une caractéristique, par exemple une faible spécificité pour n_1 , en l'associant avec des paramètres qui compensent cet effet, par exemple une couche de sortie plutôt peu profonde.

Conclusion.

Le travail d'évaluation effectué à l'aide de critères complémentaires a permis de mettre en avant les avantages et faiblesses spécifiques des indicateurs ainsi que leur possibilité de développement. La capacité à s'adapter à des conditions opérationnelles diverses a également été évaluée par l'usage des indicateurs sur un grand nombre de situations.

Ainsi, nous avons pu mettre en avant que l'indicateur n1 est plus adapté globalement pour les sols testés dans le cadre de la prévention du tassement. Toutefois, si les indicateurs qui emploient la technique d'assimilation (n2, n21 et ,22) ne sont pas les plus performants, ils permettent d'éviter des résultats qui peuvent être très médiocres dans certaines situations, comme en témoigne l'expérimentation. En effet, les indicateurs n2, n21 et n22 semblent être plus adaptés aux sols argileux qui posent le plus de problèmes. Parmi ces trois indicateurs n2 est celui qui fournit les meilleurs résultats, il semble donc que le calage de quatre paramètres apporte une plus value. De même, n22 obtient des meilleurs résultats que n21, ce qui laisse à penser qu'un calage sur la couche 0-20cm est plus approprié qu'un calage sur la couche 0-5cm.

Les indicateurs testés semblent donc sensibles au sol à étudier mais ils semblent convenir pour les seuils testés même si certains sont préférentiels, tout comme pour les niveaux de sortie.

Des voies d'amélioration ont également pu être mise en avant, comme la définition d'un seuil de décision adapté à la situation étudiée ou l'utilisation de l'assimilation séquentielle.

L'utilisation des indicateurs dans le cadre d'un OAD est donc possible (après validation d'usage) sous condition, soit d'arriver à maîtriser la variabilité (ex : en adaptant les seuils à la situation), soit en excluant les sols pour lesquels l'indicateur n'est pas fiable. Cependant, pour les sols très argileux comme Mar cela reste problématique puisque la marge d'amélioration est faible et ce type de sol peut être particulièrement sensible au tassement.

Table des illustrations

Tableau 1 Résultats par couche de sol étudiée- référence simulée	5
Tableau 2 Résultats par seuil étudié- référence simulée	5
Tableau 3 Résultats par sol étudié- référence simulée	6
Tableau 4 Résultats par indicateur étudié- référence simulée.....	7
Tableau 5 Résultats par sol et indicateur étudié- référence simulée	7
Tableau 6 Résultats par seuil étudié- référence expérimentale – Parcelle Grue B3.....	7

Liste des figures, tableaux, équations et protocoles figurant en annexe.

Figure 1 Critères d'adéquation (Wallach et Al, 2006).....	2
Figure 2 Les principaux processus physiques dans l'évaporation de l'eau du sol (d'après Chanzy, 2003)	5
Figure 3 Précipitations pour la séquence climatique d'Avignon	7
Figure 4 Précipitations pour la séquence du climat de Mons.....	7
Figure 5 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 2.....	50
Figure 6 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 6.....	51
Figure 7 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 9.....	51
Figures 8 Simulations effectuées pour le sol Alp1 (al1), Alp5 (al5), col, mar, mon et mex sous le climat d'Avignon (av) puis sous le climat de mons (mo). Ces simulations sont suivies par celle effectuée de manière expérimentale.	53
Tableau 1 Liste des principales variables utilisés dans la représentation schématique de TEC	3
Tableau 2 Caractéristiques des sols utilisés lors de l'évauation par simulation (d'après Mumen, 2006)	8
Tableau 3 Résultats bruts des simulations avec restriction	26
Tableau 4 Résultats bruts des simulations sans restriction	36
Tableau 5 Récapitulatif des cas de référence positifs et négatifs pour les différents climats, seuils et sorties des simulations de référence. Test avec restrcition.....	47
Tableau 6 Relevés d'humidités effectués lors de l'expérimentation.	49
Tableau 7 Résultats bruts de l'expérimentation.....	52
Équation 1 Equations de Philipe et De Vries	4
Équation 2 Equation intervenants dans le sol système interface sol-atmosphère	6
Protocole 1 Protocole expérimental	9
Protocole 2 Etalonnage des sondes à neutron	13

Bias	$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i$
Mean squared error	$MSE = (1/N) \sum_{i=1}^N (D_i)^2$
Root mean squared error	$RMSE = \sqrt{MSE}$
Mean absolute error	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i $
Relative root mean squared error	$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{Y}}$
Relative mean absolute error	$RMAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ Y_i - \hat{Y}_i }{ Y_i }$
Modeling efficiency	$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$
Correlation coefficient	$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [(Y_i - \bar{Y})^2] \sum_{i=1}^N [(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})^2]}}$
Agreement index	$index = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y} + Y_i - \bar{Y})^2}$
Concordance correlation coefficient	$\rho_c = \frac{2\sigma_{Y\hat{Y}}}{\sigma_Y^2 + \sigma_{\hat{Y}}^2 + (\mu_{\hat{Y}} - \mu_Y)^2}$
Total deviation index	$TDI(p) = \text{minimal value of } d \text{ such that } D_i \leq d \text{ for at least } p\% \text{ of the observed situations.}$
Coverage probability	$CP(d) = \text{the smallest value of } p \text{ such that, for a percentage } p \text{ of the observed situations, } D_i \leq d $

D_i = valeur mesurée - valeur prédite, y = valeur mesurée, $\hat{y}$ = valeur prédite

Figure 1 Critères d'adéquation (Wallach et Al, 2006)

Tableau 1 Liste des principales variables utilisés dans la représentation schématique de TEC

G	Flux de chaleur dans le sol	MT^{-1}
H	Flux de chaleur sensible	MT^{-3}
K(0)	Conductivité hydraulique du sol	LT^{-1}
LE	Le flux de chaleur latente	MT^{-3}
R _a	Rayonnement atmosphérique	MT^{-3}
R _g	Rayonnement global	MT^{-3}
R _n	Flux du rayonnement net a la surface	MT^{-3}
T(z)	Température du sol à la profondeur z (m), K	K
T _a	Température de l' air	K
U _a	Vitesse du vent	LT^{-1}
z _o	Rugosité aérodynamique	L
ρ _d	Masse volumique du sol	ML^{-3}
P _{va}	Masse volumique de la vapeur d'eau	ML^{-3}
ρ _{eau}	Densité de la vapeur d'eau	ML^{-3}
a	Albédo du sol	sans dim
C(0)	Capacité calorifique volumique des constituants	$ML^{-1} T^{-2}K^{-1}$
C _a	Capacité calorifique volumique de l'air	$ML^{-1} T^{-2}K^{-1}$
C _{ps}	Capacité calorifique volumique du sol	$ML^{-1} T^{-2} K^{-1}$
C _s	Capacité calorifique volumique de solide	$ML^{-1} T^{-2}K^{-1}$
D ₍₀₎	Diffusion gazeuse dans le sol	$L^{-2}T^{-1}$
E	Flux d'évaporation du sol nu	$M L^{-2} T^{-1}$
Ψ(0)	Potentiel hydrique	L
λ(0)	Conductivité thermique	MT^3LK^{-1}

Équation 1 Equations de Philipe et De Vries

$$Cm \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} + \left(D_{hh} \frac{\partial \Psi}{\partial z} + D_{hT} \frac{\partial T}{\partial z} - D_{lh} \right)$$
$$C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(D_{Th} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial z} + D_{TT} \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Où

ψ est le potentiel matriciel

D_{hh} est la conductivité hydrique liée aux gradients de potentiel et non isotherme

D_{hT} est la diffusivité hydrique liée aux gradients de température

D_{lh} est la conductivité hydraulique en milieu non saturé

D_{Th} est le coefficient de transfert de chaleur lié aux gradients hydriques

DTT est conductivité thermique apparente

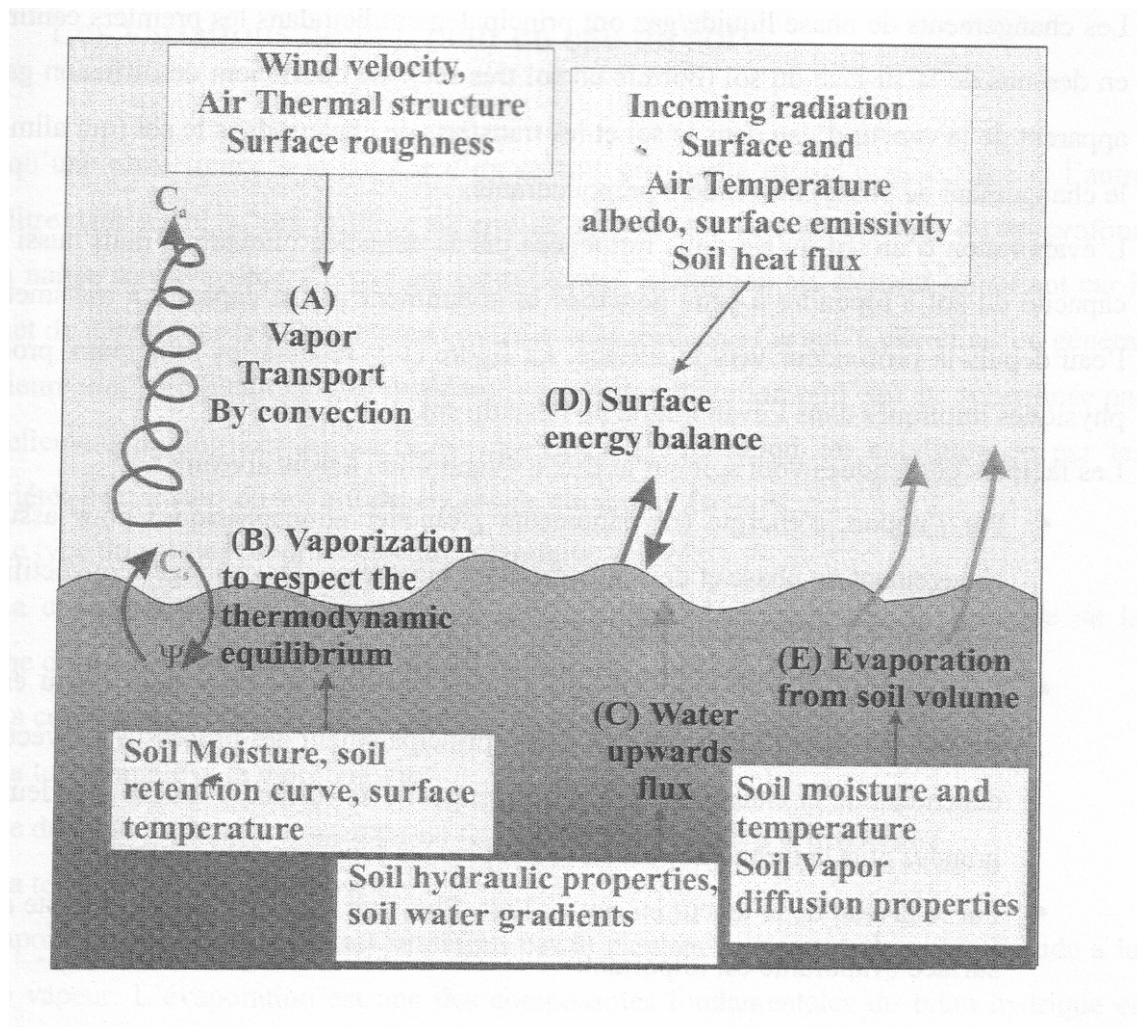


Figure 2 Les principaux processus physiques dans l'évaporation de l'eau du sol (d'après Chanzy, 2003)

Équation 2 Equation intervenants dans le sol système interface sol-atmosphère

$$Rn = (1 - a)Rg + \varepsilon_s (Ra - \sigma T_s^4) \quad (I-3)$$

Où :

Rn est le rayonnement net

a est l'albédo

Rg est le rayonnement global

Ra est le rayonnement atmosphérique

es est l'emissivité

σ est la constante de Stephan-Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

Ts est la température de la surface du sol

$$H = -\rho_a C_p h_s (Ts, Ta, Ua, z_0) \quad (I-4)$$

Où :

H est le flux convectif de flux sensible

ρ_a est la masse volumique de l'air (Kg/m^3)

C_p est la chaleur massique de l'air à pression constante ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

H_s et h_l sont les coefficients d'échange convectifs de chaleur et de masse entre la surface et le niveau du sol

Ta est la température de l'air

Ua est le vent

Z_0 est la longueur de rugosité aérodynamique

$$LE = (LM_{H_{20}} / RT) \cdot h_l \cdot (P_{va} - P_{vs}) \quad (I-5)$$

Où :

LE est le flux convectif de chaleur latente

L est la chaleur latente de vaporisation de l'eau

$M_{H_{20}}$ est la masse molaire de, l'eau

R est la constante des gaz parfaits

T est la température de la masse d'air entre le sol et un niveau de référence $(T_a + T_s)/2$

P_{va} et P_{vs} sont les pressions partielles de vapeur d'eau de l'air et à la surface du sol

$$G = -Rn - H - LE \quad (I-6)$$

Les calculs de la densité de chaleur dans le sol G et la densité de chaleur latente LE ne sont possibles que si l'évolution temporelle d'une de ces variables d'état de la surface, T_s ou ψ_s , est connue.

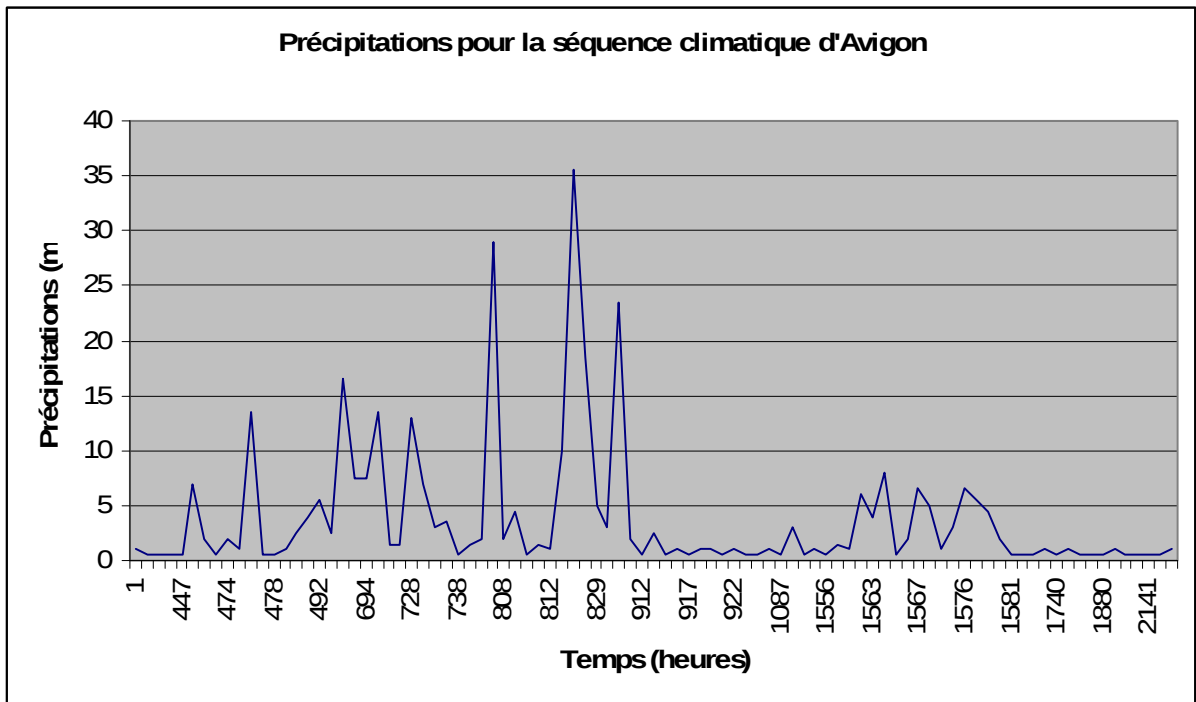


Figure 3 Précipitations pour la séquence climatique d'Avignon

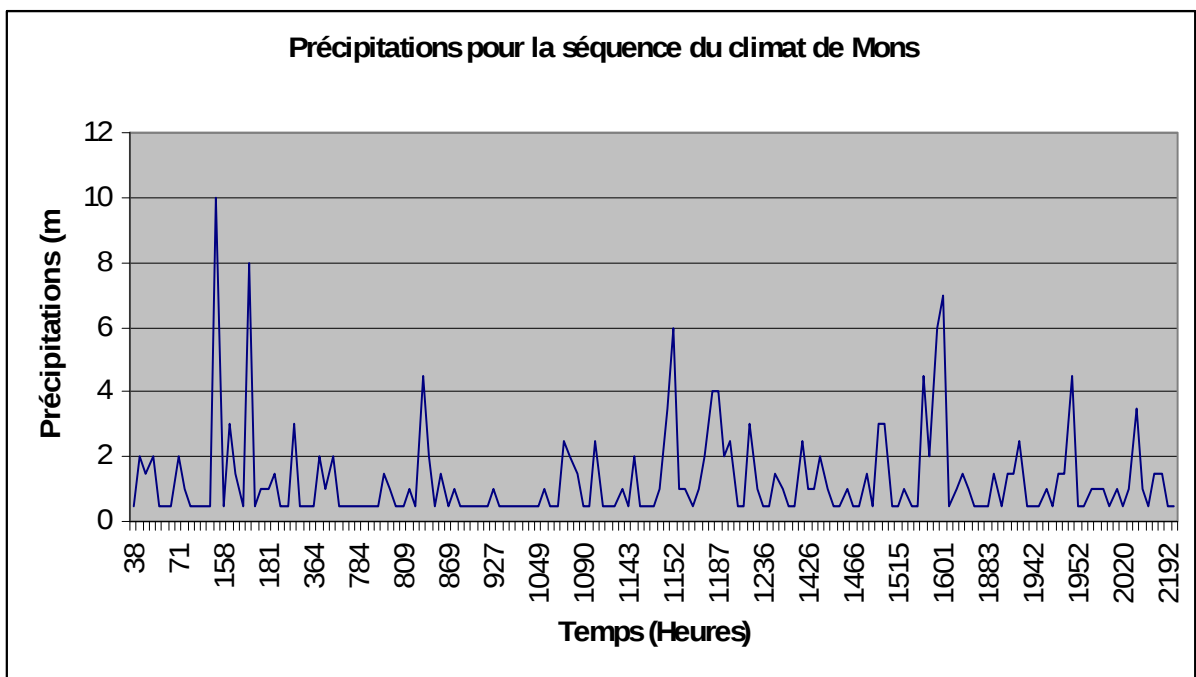


Figure 4 Précipitations pour la séquence du climat de Mons

Nom	Situation géographique	Texture - Classification	Couche	Profondeur des couches	Argile (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Sable (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Limons (%) (moyenne pondérée sur 0-80cm)	Densité apparente (g/cm ³)	Matière Organique (%)	Référence
Col	Collias (84)	Silt Loam	1	0-80	10,5	38,8	50,6	1,44	1	(Chanzy, 1991)
Mons	Mons (91)	Silt Loam	2	0-33	14,5	5,2	79,8	1,28	2,1	(Sillon, 1999)
				33-80	25,2	3,0	71,2	1,52	0,9	
Mex	Mexique	Sandy Loam	2	0-20	16,5	59,2	23,9	1,48	1,2	(Findeling 2001)
				20-80	20,8	46,2	33,0	1,23	0,9	
Alp5	Alpilles (13)	Silt Loam	3	0-10	17,0	34,3	48,6	1,24	1,2	(Oliosio et al., 2002)
				10-40	17,0	29,2	53,8	1,28	1,5	
				40-80	17,0	29,2	53,8	1,46	1,0	
Poi	Avignon (84)	Silt Clay Loam	3	0-10	27,2	11,0	61,7	1,29	2,4	(Chanzy, 1991)
				10-25	27,2	11,0	61,7	1,40	2,4	
				25-80	27,2	11,0	61,7	1,60	1,0	
Alp1	Alpilles (13)	Silt Clay Loam	3	0-10	38,9	5,3	55,8	1,30	2,5	(Oliosio et al., 2002)
				10-40	39,7	4,6	55,7	1,35	2,5	
				40-80	48,1	2,0	49,4	1,60	1,0	
Mar	Maroc	Clay	2	0-20	62,5	11,6	26,0	1,13	2,3	(Aboudrare, 2000)
				20-80	62,5	11,5	28,0	1,37	2,3	

Tableau 2 Caractéristiques des sols utilisés lors de l'évaluation par simulation (d'après Mumen, 2006)

Protocole d'expérimental :

Expérimentation de la valeur d'usage de l'indicateur d'humidité au champ.

Contexte :

Cette expérimentation porte sur la mise au point d'un outil pour prévenir le tassement, elle s'inscrit dans le contexte national de lutte contre les dégradations physiques des sols (DST). Plus largement ce sujet s'inscrit dans la stratégie thématique en faveur de la protection des sols mise en place par la commission européenne.

Participants :

Chanzy André, Brunet Nicolas
Dominique Renard, Olivier Marloie
Estelle Esberard, équipe de l'UE 1187

Objet :

Evaluer la valeur d'usage d'indicateur humidité du sol comme indicateur prévisionnel des risques de tassement lors du travail du sol. Il s'agira à travers cette expérience d'observer un éventuel lien direct entre les valeurs d'humidité du sol et la variation de densité du sol après une intervention culturale.

Contraintes/difficultés :

L'hétérogénéité intra parcellaire doit être prise en compte, plus particulièrement deux aspects : les valeurs d'humidité et de densité du sol.
Certains biais peuvent survenir notamment en rapport avec la mesure densimétrique des sols. En effet des perturbations dues à l'historique de la parcelle (profils culturaux, sous-solages, essais de roulement, etc.) peuvent être observées.

Matériel :

L'expérimentation aura lieu sur le site de l'INRA d'Avignon (domaine Saint Paul) sur la parcelle expérimentale dite *La Grue*.

Voici les caractéristiques de la parcelle :

➤ Coordonnées du site :	➤ Superficie :
latitude : 43° 55'00'' N	1.8 ha
longitude 4° 52'47'' E	➤ Texture :
(WGS84, méridien de Greenwich)	16 % sable
Altitude : 32 m (au dessus du niveau de la mer)	51 % limon
	33 % argile
	MO : environ 25g/Kg

Caractéristiques des matériels de mesure :

Les relevés d'humidité seront effectués à l'aide d'une sonde TDR (30 cm) et d'une sonde neutronique.

Les relevés de densité seront effectués à l'aide d'une sonde à rayon gamma.

Caractéristiques du matériel de tassement tracteur :

Tracteur JOHN DEERE 3 400, 85 cv, 4 roues motrices*, de 1998 équipé d'une herse rotative.

Poids (roues gonflées à l'eau) : environ 1120 Kg sur l'essieu avant et 3980 Kg sur l'essieu arrière.

Méthode :

L'essai sera réalisé en conditions réelles d'humidité. Les contraintes appliquées sur le sol proviendront soit d'opérations culturales effectuées dans le cadre normal de l'entretien des cultures expérimentales soit de passage d'engins lourds. Nous nous appuierons sur les variations d'humidité intra-parcellaires afin de les mettre en lien avec les différences de tassement observées.

Des mesures d'humidités seront effectuées à différentes profondeurs à l'aide des sondes neutroniques, en six points de la parcelle (symbolisés par une étoile dans le relevé du 22/02 en annexe). D'autres mesures portant sur les 30 premiers centimètres du sol seront effectuées environ tous les douze mètres. Afin de tenter d'établir le lien humidité / tassement. A différents endroits de la parcelle d'autres relevés d'humidité seront effectués pour déterminer la variabilité spatiale de l'humidité.

Les densités de sols seront mesurées sur le passage du tracteur et en dehors afin de déterminer l'effet du tassement dû au passage de l'engin. La profondeur des ornières sera également mesurée aux points de relevés des densités. Les ornières permettront d'identifier les zones plus ou moins tassées qui seront mesurées à l'aide de la sonde gamma. Les relevés de densité seront effectués aux points de mesures de l'humidité

Dispositif de morcellement :

Les relevées doivent prendre en compte l'hétérogénéité de la parcelle vis-à-vis de la densité de sol et de l'humidité.

Pour cela les relevés devront être effectués en fonction de l'historique de la parcelle (qui conditionne en partie les variations de densité) et de l'axe nord-sud qui semble être le plus influant sur les conditions d'humidité du sol (protection de haies au sud et de la colline au nord, peu d'obstacles est-ouest).

De même les zones de bordures où le tracteur fait demi-tour ou de longs arrêts sont à proscrire.

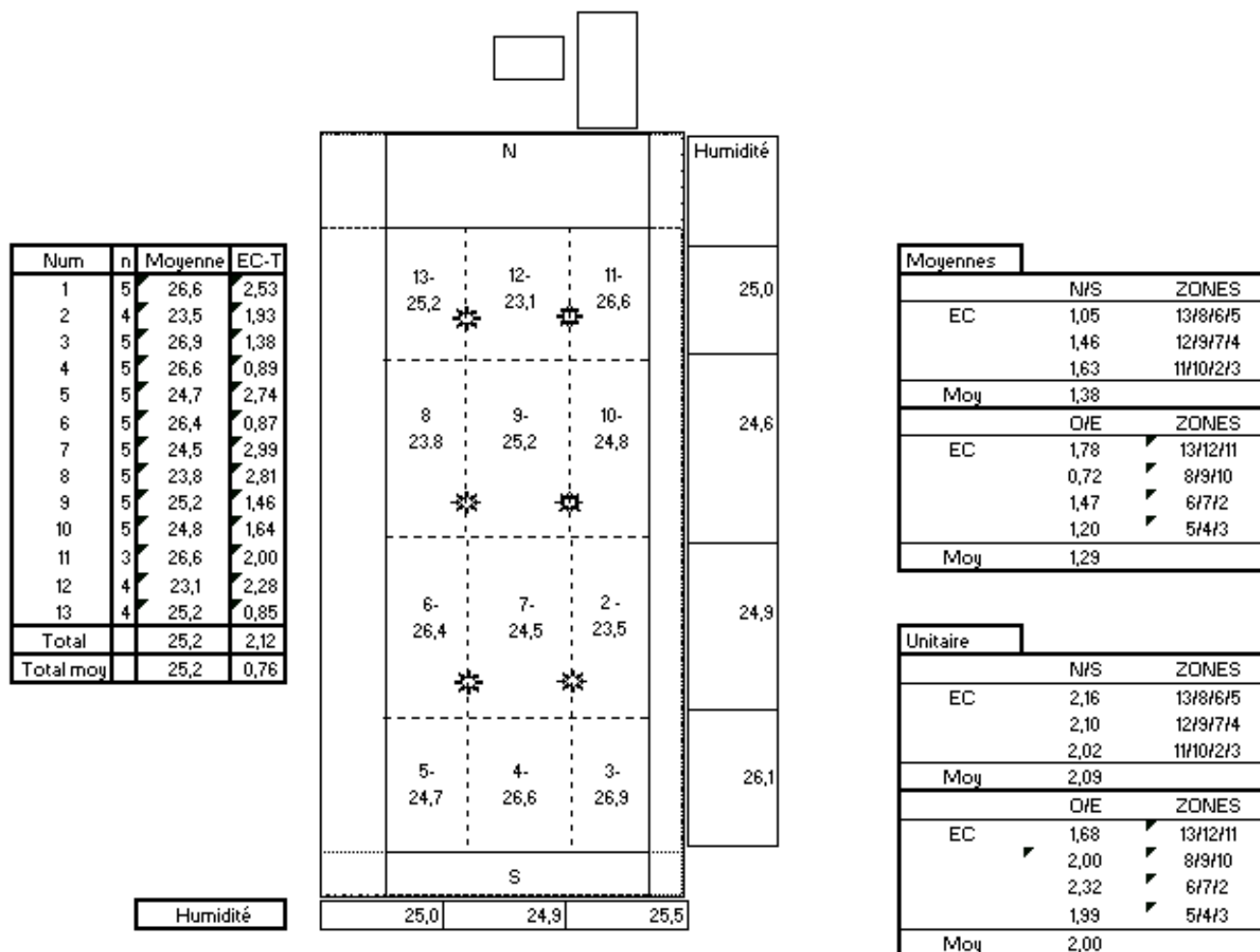


Une bande roulement sera étudiée, traversant la parcelle selon l'axe nord/sud. L'orientation de cette bande permet d'offrir des conditions hydriques plus variées qui peuvent potentiellement permettre d'observer des variations de tassement. Cette bande sera effectuée entre les deux rangées des sondes à neutrons afin de pouvoir profiter des relevés fournis par cette installation.

- Liste des variables prises en compte :

Variable	Type	Caractéristique
Densité du sol	Etudiée	
Humidité du sol	Etudiée	
Nombre de passages	Contrôlée	Un seul
Type de pneus	Contrôlée	Arrière : 580/70-38 Avant : 680/75/28
Pression des pneus	Contrôlée	
Poids de l'engin (+ attelage)	Contrôlée	A l'avant : environ 1120 Kg A l'arrière : environ 3980 Kg
Vitesse d'avancement	Contrôlée	

- Illustration de la variabilité longitudinale de l'humidité de la parcelle la grue. Issu d'un relevé effectué le 22/02/2007 à l'aide d'une sonde TDR (0-20cm).



- Fiche de saisie des relevés densimétriques effectués avec une sonde à ondes gamma.

Date: 08/03/2007		Heure:		Opérateur:	
Nom de l'essai		Essai n°: 1		Placette n°:	
Parcelle n°: B3		Numéro de la sonde:		Temps de comptage:	
Ecartement normal:		Ecartement z-0cm:		Ecartement z-15cm:	

Cote (z)			C1		C2		C3		Humidité entre les tiges (0- 30cm)	Prélevement		
Humidité	densité hors trace	densité trace	hors trace	trace	hors trace	trace	hors trace	trace		n°	Poids humide	Poids sec
0-2,5												
2,5-5												
5-7,5	5											
7,5-10	7,5											
10-15	12,5											
15-20	17,5											
20-25	22,5											
25-30	27,5											
30-35	32,5											
35-40	37,5											
40-45	42,5											
45-50	47,5											

- Fiche de saisie des relevés d'humidités effectués à l'aide de sondes TDR

Date: 08/03/2007		Heure:		Opérateur:	
Nom de l'essai		Essai n°: 1			
Parcelle n°: B3		Numéro de la sonde:		Temps de comptage:	
Ecartement normal:		Ecartement z-0cm:		Ecartement z-15cm:	

Placette n°	
-------------	--

Cote (z)	Relevé ouest trace				Relevé est trace			
	O1	O2	O3	O4	E1	E2	E3	E4
0-10								
0-15								
0-30								

Méthode de calcul des valeurs d'humidité volumique 2003-2006

Rédacteurs : Nicolas Brunet, Dominique Renard et A. Chanzy

Les valeurs d'humidité volumique fournies dans le fichier « humidité volumique 2003-2006.xls » sont issues de relevés effectués avec une sonde à neutron sur la parcelle Grue (B3)-Domaine Saint Paul, Avignon. Chaque valeur d'humidité est en fait une moyenne calculée à partir de plusieurs relevés. Le calcul de la moyenne se fait dans le but de prendre en compte la variabilité de la mesure et la variabilité spatiale. Il est bien sûr dépendant des relevés disponibles, qui n'ont pas toujours été effectués de manière identique au cours du temps en fonction des contraintes techniques.

Les sondes neutroniques ont été pour la plupart étalonnées au moment de l'installation des tubes (ce qui correspond environ à un étalonnage par an). Parfois des mesures additionnelles complètent les points d'étalonnage. Les valeurs d'humidité fournies dans les fichiers en sont dépendantes.

N.B. : Les coefficients d'étalonnage pour les couches superficielles (0-10cm et 10-20cm) sont calculés à partir des données d'un étalonnage unique rassemblant toutes les mesures acquises sur tous les tubes exploités sur la période 2003-2006. La valeur d'étalonnage employée est donc la même pour ces quatre années. Ce choix a été fait car peu de données sont disponibles pour étalonner la sonde sur ces profondeurs. Un étalonnage de vérification a été en 2007 effectué sur ces couches afin de vérifier la cohérence des valeurs d'étalonnage.

L'historique d'installation, de désinstallation et d'étalonnage des tubes est le suivant

		2003	2004	2005	2006	2007	date instal	Date retrait	Emplacement
T1	Tube Sud 2001						27/11/2001	26/03/2003	Sud
T2	Tube Nord 2001						27/11/2001	26/03/2003	Nord
T3	Tube S inter 2003						15/05/2003	04/05/2004	Sud
T4	Tube S rang 2003						15/05/2003	04/05/2004	Sud
T5	Tube N inter 2003						19/05/2003	28/05/2003	Nord
T6	Tube N rang 2003						19/05/2003	25/09/2203	Nord
T7	Tube N inter 2 2003						13/08/2003	04/05/2004	Nord
T8	Tube sud 2004						18/02/2004	06/10/2006	Sud
T9	Tube centre 2004						18/02/2004	06/10/2006	Centre
T10	Tube nord 2004						19/02/2004	06/10/2006	Nord
T11	Tube sud 2 2006						11/04/2006		Sud
T12	Tube centre 2 2006						11/04/2006		Centre
T13	Tube nord 2 2006						11/04/2006		Nord

	Exploitation des tubes
	Etalonnage des tubes
	En cours d'exploitation

Pour mieux prendre en compte l'hétérogénéité spatiale il a été décidé de prendre en compte l'emplacement des tubes. Ainsi la moyenne présentée résulte de la moyenne des relevés effectués au nord et au sud, voire au centre lorsque des données sont présentes. Si plusieurs relevés sont présents à un emplacement, ils sont moyennés afin d'obtenir une plus grande précision de la valeur représentée à cet emplacement. Cet emplacement est ensuite moyenné avec les autres afin d'obtenir une meilleure approximation de l'humidité moyenne au champ. Ainsi si deux tubes sont situés au nord et un au sud, la valeur de l'emplacement « nord » sera la moyenne des deux tubes situés au nord et la moyenne de l'emplacement « sud » de la

parcelle sera constituée des relevés du tube sud. La valeur d'humidité de la parcelle sera considérée comme la moyenne des valeurs de l'emplacement « nord » et « sud ».

Afin de justifier les valeurs présentes dans le fichier la méthode employée est décrite ci-dessous ainsi que les coefficients d'étalonnage utilisés.

Année 2003 :

➤ Du 02/01/2003 au 26/03/2003 (période de J2 à J85 inclus)

Durant cette période les humidités sont issues de la moyenne entre les relevés effectués à deux endroits : au sud (« Tube A sud ») et au nord (« Tube B nord ») en utilisant l'étalonnage réalisé le 16/11/01

Tube Sud				Tube Nord			
Profondeur	A	b	R ²	Profondeur	A	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933	0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244	10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000391	-0,033891	0,9042	20-190	0,000383	0,022665	0,9282
Etalonnage le 16/11/01				Etalonnage le 16/11/01			
Coefficients d'étalonnage des tubes: Tubes Sud et Tube Nord							

➤ Du 15/05/2003 au 24/12/2003 (période de J133 à J358)

La moyenne fournie provient d'une moyenne entre les valeurs relevées « nord » et les valeurs « sud » de la parcelle.

Les valeurs « sud » proviennent de la moyenne des relevés entre le « Tube S inter 2003 » et le « Tube rang (sud) 2 2003 » tous deux situés au sud.

Les valeurs « nord » proviennent de la moyenne entre les « Tube N rang 2003 », Tube N inter 2003 et « Tube N inter 2 2003 » situés au nord. Il est à noter que les relevés sur le « Tube N inter 2 2003 » n'ont débuté que au J190 alors que ceux du « Tube N rang 2003 » ont cessé à J253. Les relevés du tube « Tube N inter 2003 » ont eu lieu seulement qu'entre J133 et J147.

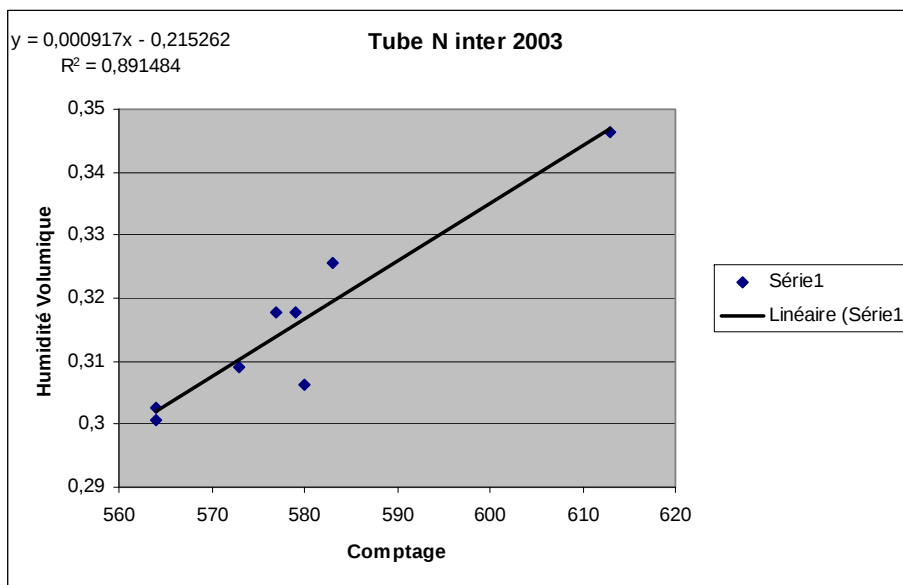
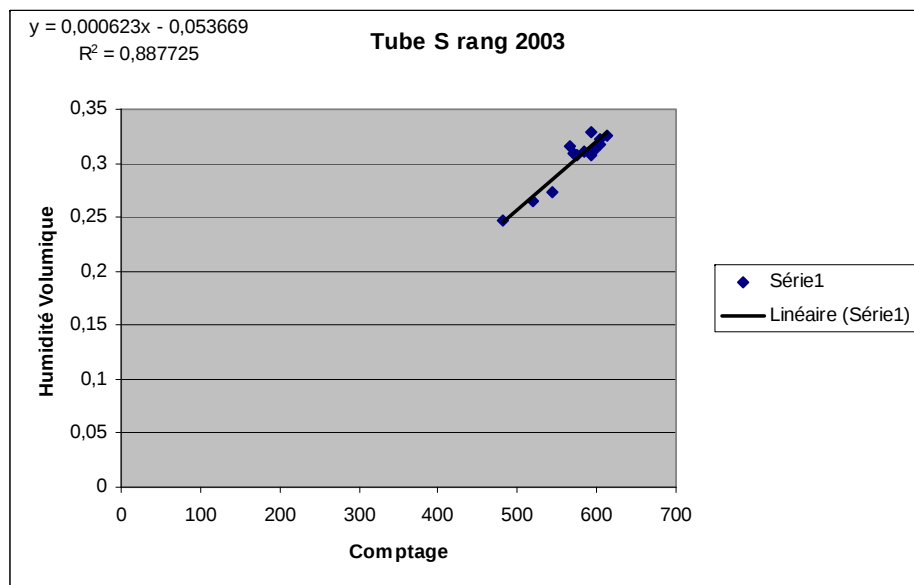
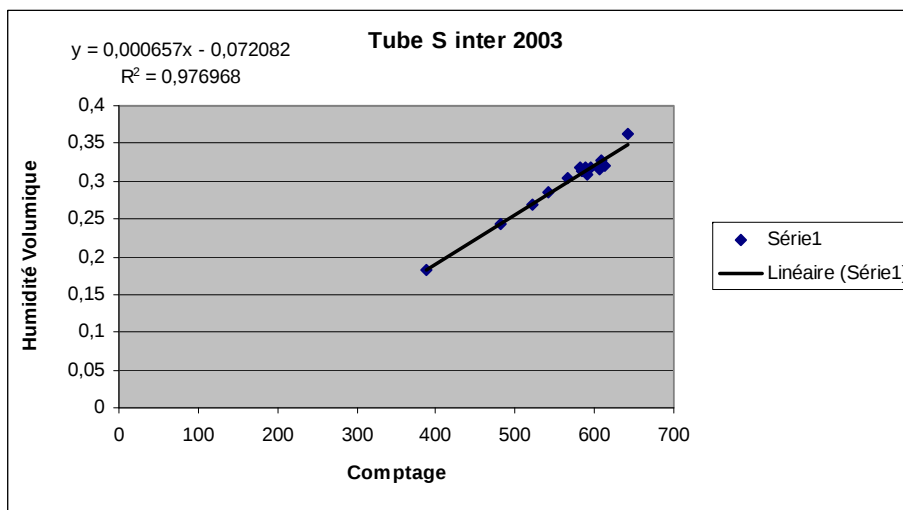
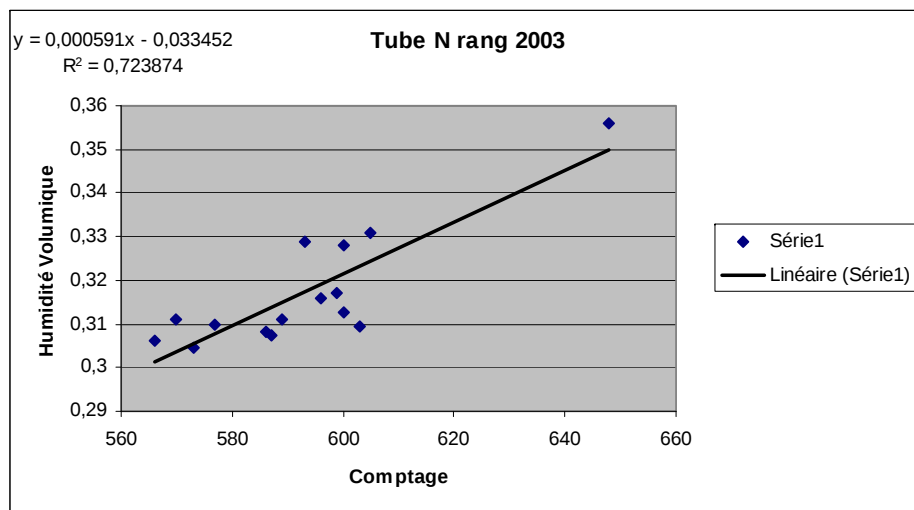
« Sud »

Tube S inter 2003				Tube S rang 2003			
Profondeur	a	b	R ²	Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933	0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244	10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000657	-0,07208	0,9769	20-190	0,000623	-0,053669	0,8877
Etalonnage le 15/05/03				Etalonnage le 15/05/03			
Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube S inter 2003 et Tube S rang 2003							

« Nord »

Tube N inter 2 2003				Tube N rang 2003			
Profondeur	a	b	R²	Profondeur	a	b	R²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933	0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244	10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000546	0,003134	0,898341	20-190	0,000591	-0,033452	0,723874
Etalonnage le 09/07/2004				Etalonnage le 15/05/03			
Tube N inter 2003				Etalonnage le 15/05/03			
Profondeur	A	B	R²				
0-10	0,000349	0,118881	0,6933				
10-20	0,000446	0,067849	0,9244				
20-190	0,000917	-0,215262	0,8915				
Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube N inter 2 2003 et Tube N rang 2003							

Figure 5 Corrélations d'étalonnage comptage/humidité pour les tubes étalonnés en 2003



Année 2004 :

En 2004 les humidités volumiques moyennes sont issues de la moyenne entre les relevés « sud », les « centre » et les « nord ».

- Du 02/01/2004 au 19/02/2004 (période de J2 à J50 inclus)

Les valeurs « sud » sont issues des relevés effectués au tube « Tube S rang 2003 » et du tube « Tube S inter 2003 » et les valeurs « nord » de « Tube N inter 2 2003 ».

- Du 26/02/2004 au 21/04/2004 (période de J57 à J112 inclus)

Les valeurs « sud » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube S rang 2003 », « Tube S inter 2003 » et au « Tube sud 2004 ».

Les valeurs « centre » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube centre 2004 ».

Les valeurs « nord » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube N inter 2 2003 » et au « Tube nord 2004 ».

- Du 07/05/2004 au 29/12/2004 (période de J128 à J364 inclus).

Les valeurs « sud » sont issues des relevés effectués au tube « Tube sud 2004 ». Les valeurs « Tube centre 2004 » sont issus du « Tube centre 2004 » et les valeurs « nord » de « Tube nord 2004 ».

« Sud »

Tube S rang 2003

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000553	-0,01202	0,9428

Etalonnage le 09/07/2004

Tube sud 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000433	0,050542	0,8301

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube S rang 2003 et Tube sud 2004

« Centre »

Tube S inter 2003

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000459	0,034296	0,9575

Etalonnage le 09/07/2004

Tube centre 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000499	0,02393	0,9112

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube S inter 2003 et Tube centre 2004

« Nord »

Tube N inter 2 2003

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000546	-0,003134	0,898341

Etalonnage le 09/07/2004

Tube nord 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000632	-0,034597	0,8406

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube N inter 2 2003 et Tube nord 2004

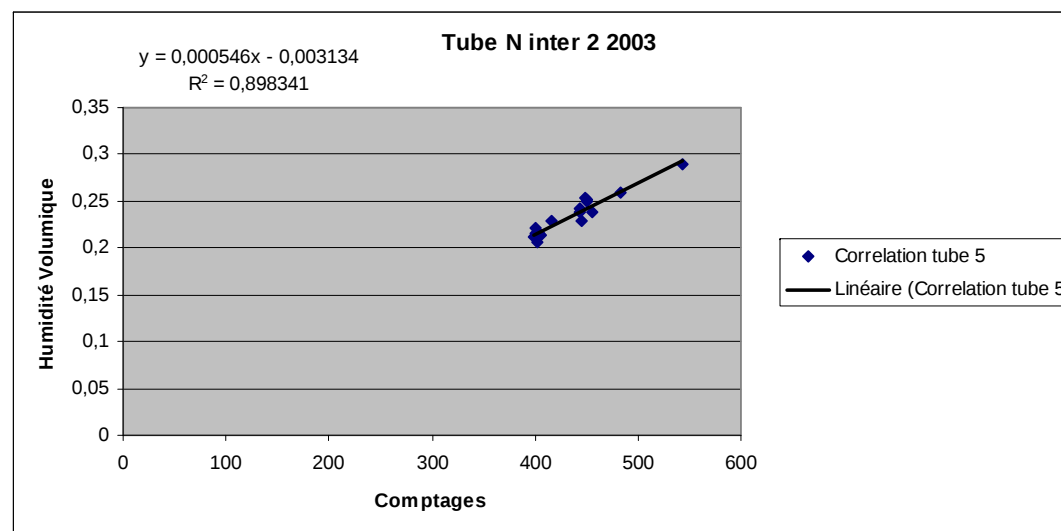
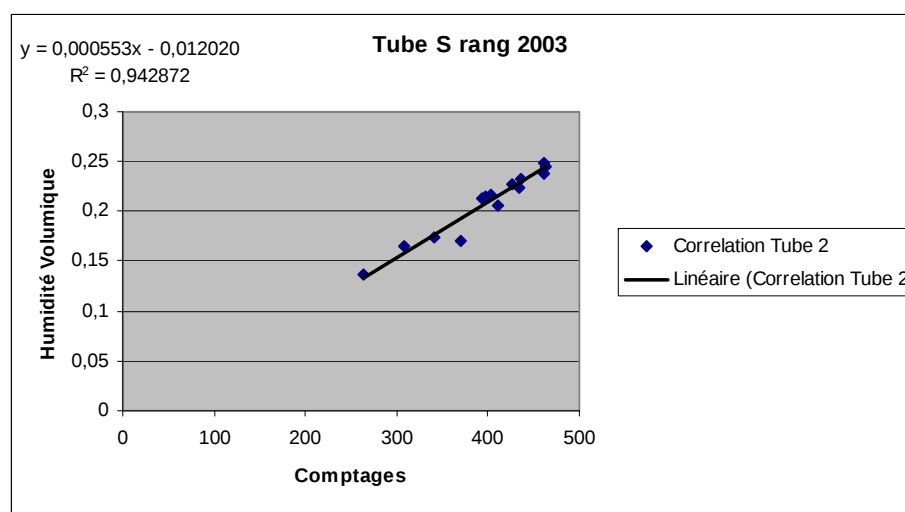
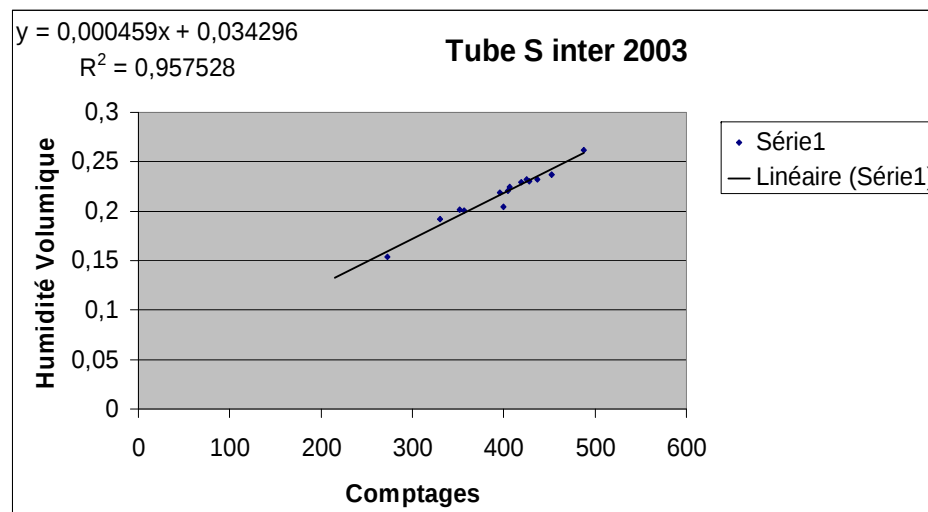


Figure 6 Corrélation d'étalonnage humidité/comptage pour les tubes S inter, S rang et N inter 2003

Année 2005 :

En 2005 les humidités volumiques moyennes sont issues de la moyenne entre les relevés « sud », les « centre » et les « nord ».

Les valeurs « sud » sont issues des relevés effectués au tube « Tube sud 2004 ». Les valeurs « centre » sont issues du « Tube centre 2004 » et les valeurs « nord » de « Tube nord 2004 ».

« Sud »

Tube sud 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000433	0,050542	0,8301

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube sud 2005 et Tube centre 2005

« Centre »

Tube centre 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000499	0,02393	0,9112

Etalonnage le 14/03/2005

« Nord »

Tube nord 2004

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000632	-0,034597	0,8406

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube nord 2005

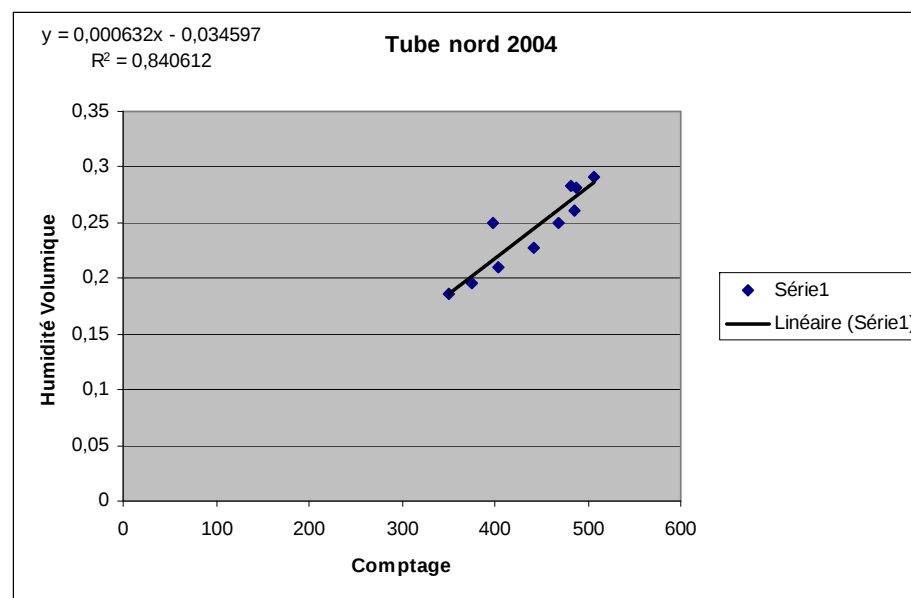
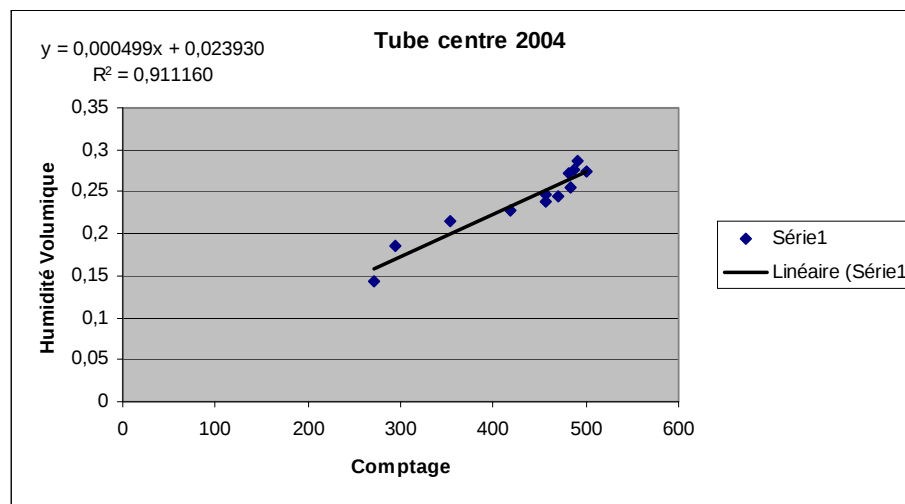
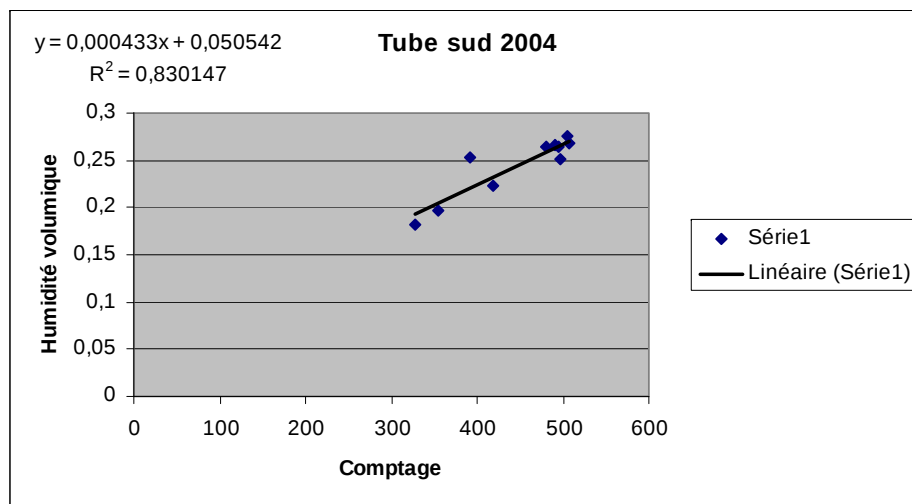


Figure 7 Corrélation d'étalonnage comptage/humidité pour les tubes utilisés en 2005

Année 2006 :

En 2006 les humidités volumiques moyennes sont issues de la moyenne entre les relevés « sud », les « centre » et les « nord ».

➤ Du 03/01/2006 au 06/04/2006 (de J3 à J96 inclus)

Les valeurs « sud » sont issues des relevés effectués au tube « Tube sud 2006 ». Les valeurs « centre » sont issues du « 'Tube centre 2006 » et les valeurs « nord » de « Tube nord 2006 ».

➤ >Du 11/04/2006 au 28/09/2006 (de J101 à J215 inclus)

Les valeurs « sud » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube sud 2006 » et au « Tube sud (2) 2006 ».

Les valeurs « centre » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube centre 2006 » et au « Tube centre (2) 2006 ».

Les valeurs « nord » sont issues de la moyenne des relevés effectués au tube « Tube nord 2006 » et au « Tube nord (2) 2006 ».

➤ Du 06/10/2006 au 21/12/2006 (de J222 à J355 inclus)

Les valeurs « sud » sont issues des relevés effectués au tube « Tube sud (2) 2006 ». Les valeurs « centre » sont issus du « 'Tube centre (2) 2006 » et les valeurs « nord » de « Tube nord (2) 2006 ».

« Sud »

Tube sud 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000433	0,050542	0,8301

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube sud 2006 et Tube sud (2) 2006

Tube sud (2) 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000654	-0,042945	0,86464

Etalonnage le 17/05/2006

« Centre »

Tube centre 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000499	0,02393	0,9112

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube centre 2006 et Tube centre (2) 2006

Tube centre (2) 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000436	0,057753	0,84419

Etalonnage le 17/05/2006

« Nord »

Tube nord 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000632	-0,034597	0,8406

Etalonnage le 14/03/2005

Coefficients d'étalonnage des tubes: Tube nord 2006 et Tube nord (2) 2006

Tube nord (2) 2006

Profondeur	a	b	R ²
0-10	0,000349	0,118881	0,6933
10-20	0,000446	0,067849	0,9244
20-190	0,000342	0,114235	0,8715

Etalonnage le 17/05/2006

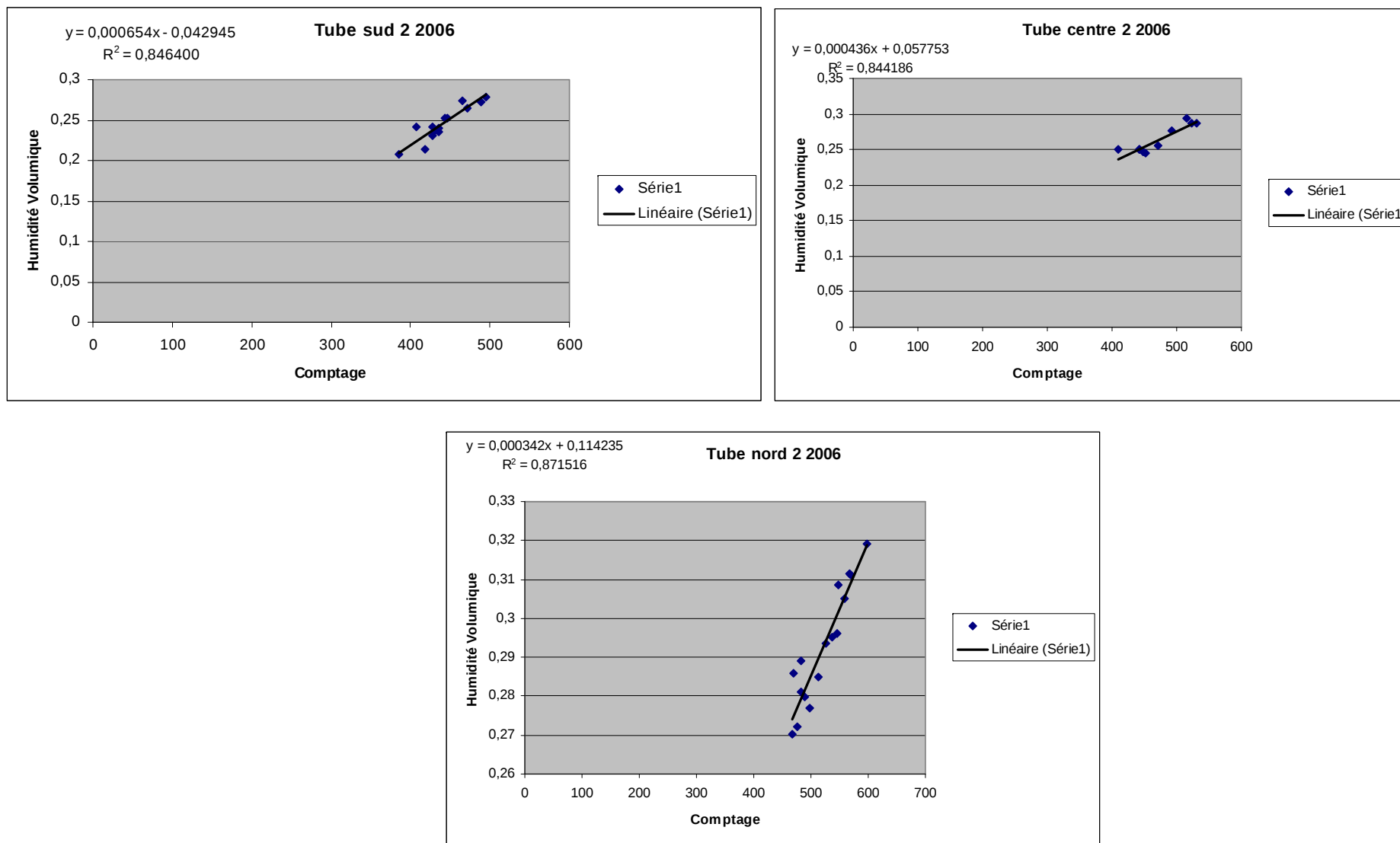
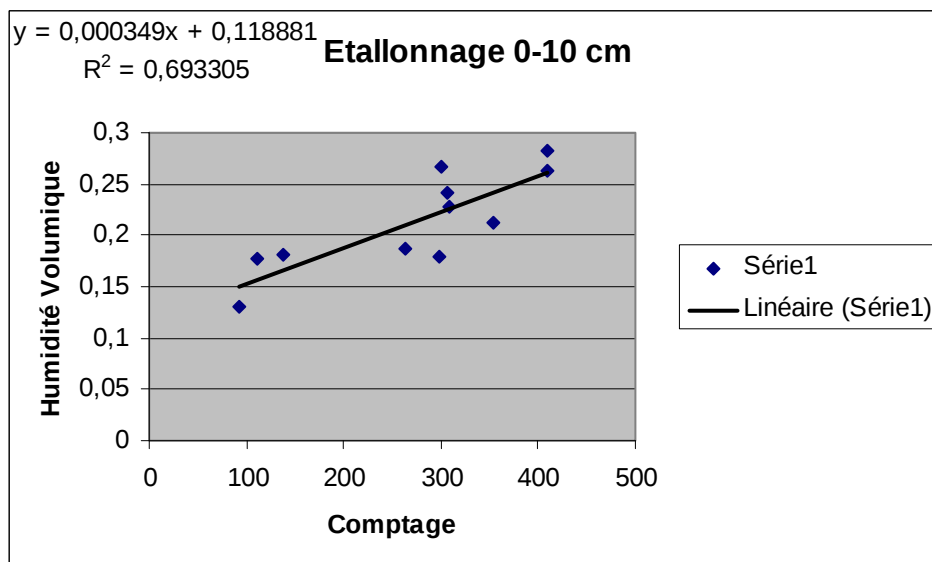
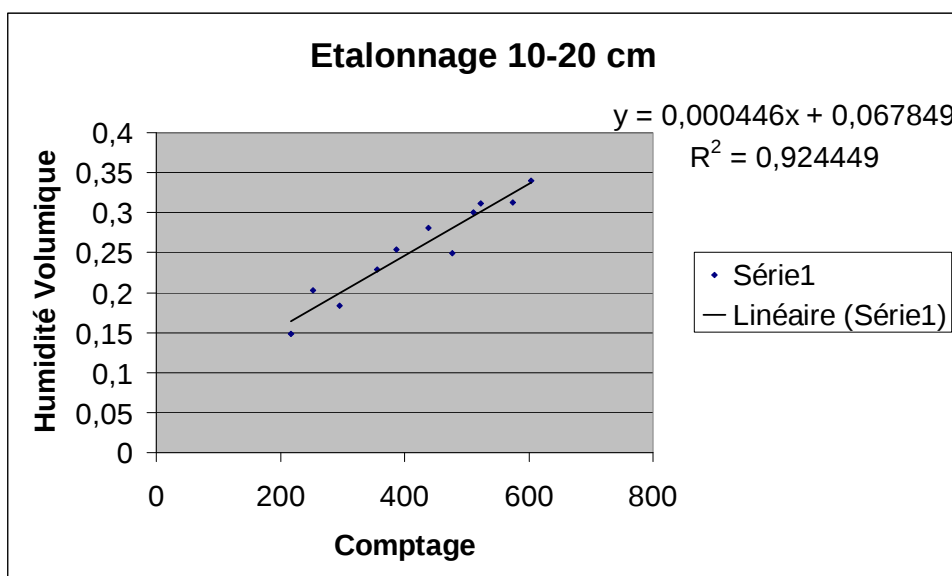


Figure 8 Corrélations d'étalonnage comptages/humidités pour les tubes installés en 2006

Etalonnage pour les couches superficielles.

Comme rappelé au début du document les valeurs les coefficients d'étalonnage pour ces couches sont calculées à partir d'un étalonnage unique rassemblant toutes les mesures acquises sur tous les tubes exploités sur la période 2003-2006. Les valeurs d'étalonnage employées sont donc les mêmes pour ces quatre années (elles figurent sur les tableaux de valeurs d'étalonnage précédents). Nous qualifierons ces étalonnages d'usuel.



Etalonnage de vérification

En 2007 des relevés d'étalonnage ont été réalisés afin de vérifier les coefficients utilisés, notamment pour les couches superficielles. Cet étalonnage supplémentaire est basé sur des relevés effectués dans 6 tubes : les 3 tubes exploités en 2007 (Sud2, Centre2, Nord2) et les tubes exploités en 2006 qui sont encore en place sur la parcelle (Sud, Centre, Nord). Cet étalonnage supplémentaire confirme la cohérence des valeurs énoncées précédemment. L'étalonnage de vérification a été réalisé sur 6 tubes. Cinq relevés ont été effectués par tube, dont deux sur les couches superficielles (un par couche superficiel).

➤ Etalonnage des couches superficielles

Pour la vérification des coefficients d'étalonnage des couches superficielles, les mesures des six tubes ont été rassemblées. On a donc six points par couche qui nous permettent de calculer une nouvelle équation d'étalonnage. Il est à noter que les mesures sur la couche 0-10cm sont particulièrement imprécises puisque, pour des raisons de sécurité, nous n'avons pas pu mesurer la densité de cette couche à l'aide de la sonde gamma.

Pour la couche 10-20cm on obtient des coefficients d'étalonnage assez proches de ceux utilisés. Dans le cas de la vérification comme celui de l'étalonnage usuel une corrélation importante entre les comptages et les taux d'humidité existe. L'étalonnage de vérification confirme donc la validité des valeurs utilisées de manière usuelle.

Pour la couche 0-10cm les coefficients d'étalonnage obtenus au cours de la vérification diffèrent plus que précédemment des coefficients d'étalonnages usuels. Mais dans les deux cas, surtout pour l'étalonnage de vérification, les corrélations entre comptages et humidités ne sont pas très élevées. Cela confirme la difficulté d'obtenir des données précises en surfaces et la nécessité de précautions à prendre lors de l'utilisation de ces données. Toutefois l'étalonnage usuel n'est pas invalidé par l'étalonnage de vérification.

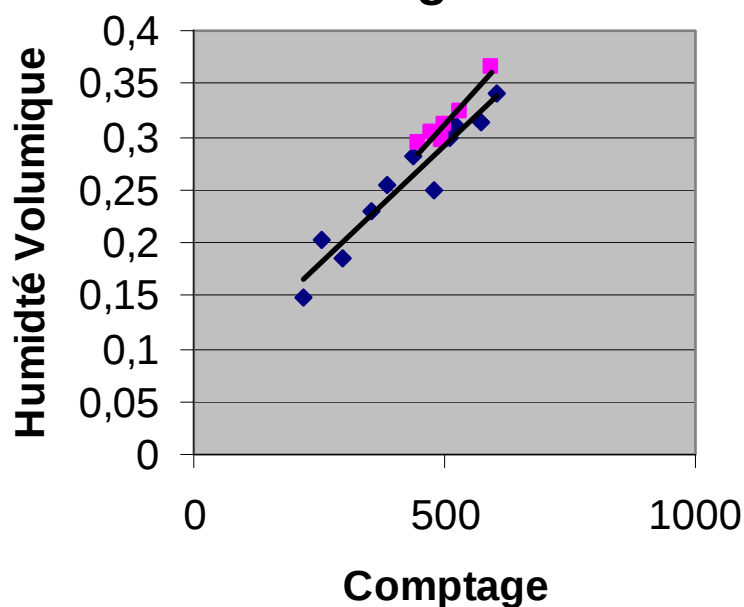
Etalonnage de la couche 10-20cm

Etalonnage de vérification				Etalonnage usuel			
Profondeur	a	b	R ²	Profondeur	a	b	R ²
10-20	0,000510	0,057233	0,9159	10-20	0,000446	0,067849	0,9244
Etalonnage le 24/05/2007							

Etalonnage de la couche 0-10cm

Etalonnage de vérification				Etalonnage usuel			
Profondeur	a	b	R ²	Profondeur	a	b	R ²
10-20	0,000510	0,057233	0,9159	10-20	0,000446	0,067849	0,9244
Etalonnage le 24/05/2007							

Etalonnage 10-20 cm



◆ Etalonnage 10-20 cm ■ Etalonnage de verification 10-20cm

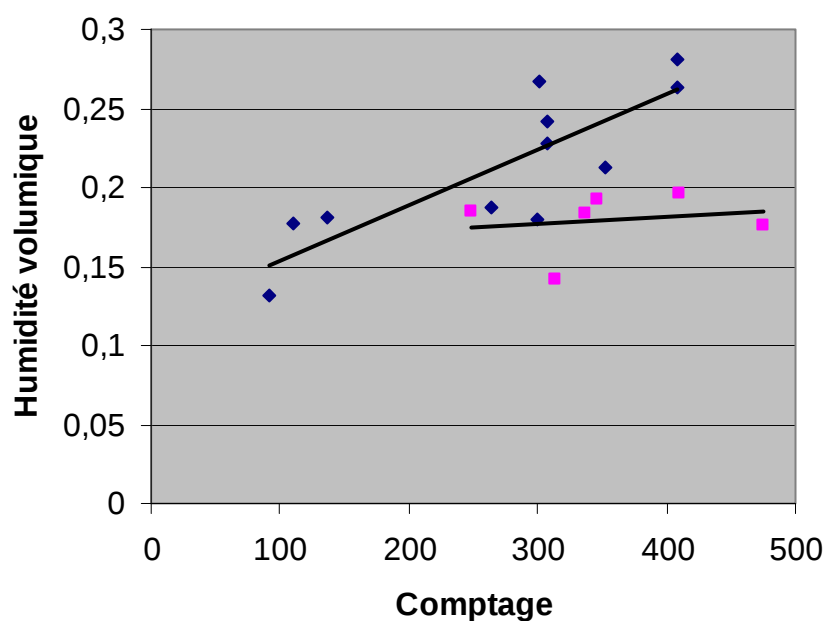
$$y = 0,000446x + 0,067849$$

$$y = 0,000510x + 0,057233$$

$$R^2 = 0,924449$$

$$R^2 = 0,915909$$

Etalonnage 0-10 cm



◆ Etalonnage 0-10cm

■ Etalonnage de verification

$$y = 0,000349x + 0,118881$$

$$y = 0,000045x + 0,163293$$

$$R^2 = 0,693305$$

$$R^2 = 0,031438$$

➤ Etalonnage de la couche 20-190cm :

Ici seuls les tubes Nord2, Centre2 et Sud2 seront étudiés car les trois autres tubes ne sont plus exploités.

Pour l'étalonnage de vérification trois valeurs ont été mesurées, en profondeur, par tube. Cet étalonnage n'est donc pas suffisant pour recalculer les coefficients d'étalonnage de chaque tube. Toutefois l'ajout de ces points aux courbes précédemment obtenues permet une appréciation graphique de la qualité d'utilisation des coefficients au cours de la période de temps considérée (2006 à 2007).

Les étalonnages de vérification illustrent le fait que les coefficients utilisés pour les trois tubes concernés sont globalement satisfaisants.

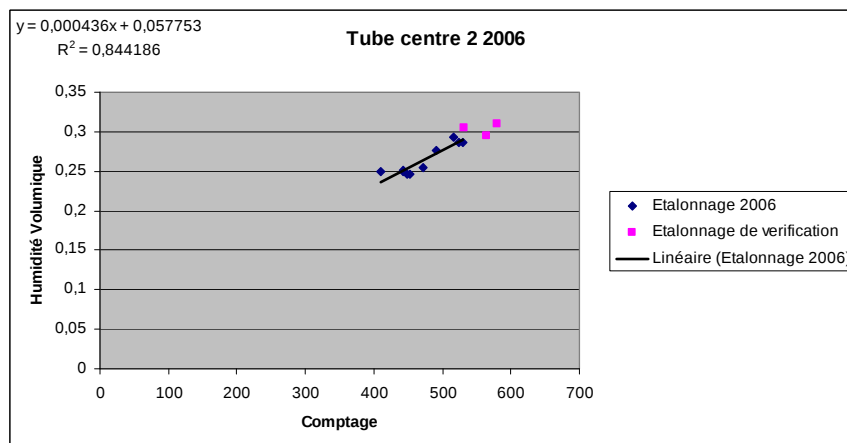
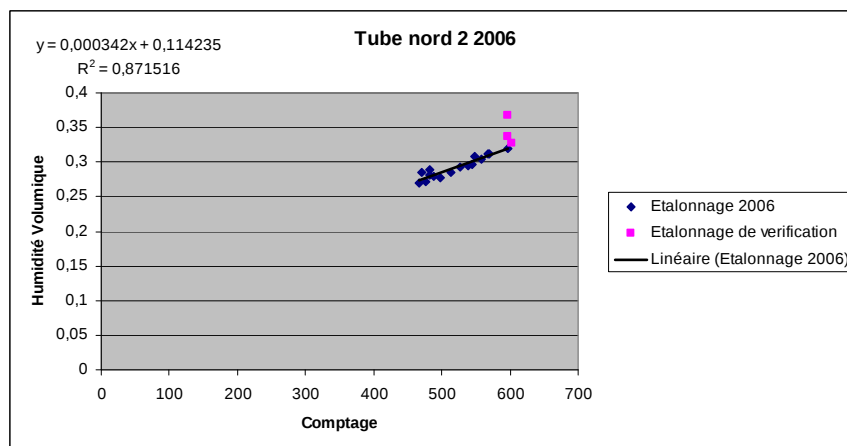
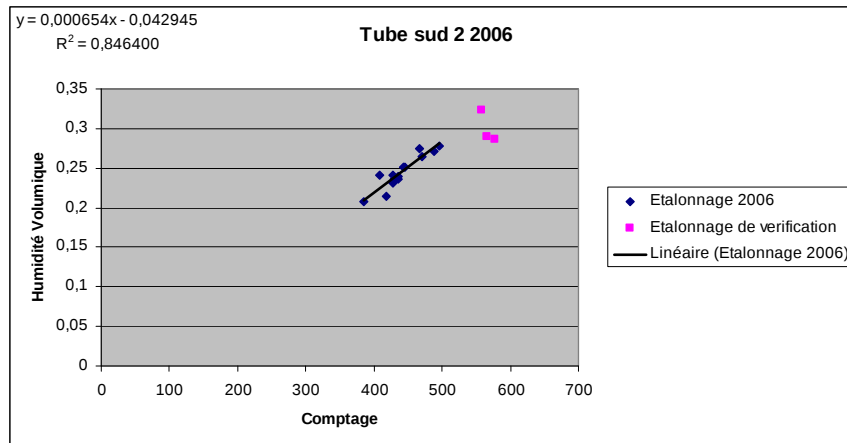


Tableau 3 Résultats bruts des simulations avec restriction

Sol	Climat	Sortie	Indicateur	Seuil	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
al1	AV	H0005	n1	28	NA	100%	NA	100%	100%	NA
al1	AV	H0005	n1	31	0%	77%	0%	98%	76%	66%
al1	AV	H0005	n1	34	100%	54%	4%	100%	55%	98%
al1	AV	H0015	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0015	n1	31	76%	100%	100%	36%	79%	100%
al1	AV	H0015	n1	34	95%	50%	88%	71%	86%	89%
al1	AV	H0030	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n1	34	94%	NA	100%	0%	94%	NA
al1	AV	H0005	n2	28	NA	100%	NA	100%	100%	NA
al1	AV	H0005	n2	31	0%	61%	0%	98%	60%	37%
al1	AV	H0005	n2	34	100%	31%	3%	100%	33%	99%
al1	AV	H0015	n2	28	2%	NA	100%	0%	2%	NA
al1	AV	H0015	n2	31	46%	100%	100%	19%	52%	96%
al1	AV	H0015	n2	34	92%	100%	100%	77%	94%	98%
al1	AV	H0030	n2	28	52%	NA	100%	0%	52%	NA
al1	AV	H0030	n2	31	48%	NA	100%	0%	48%	NA
al1	AV	H0030	n2	34	90%	NA	100%	0%	90%	NA
al1	AV	H0005	n21	28	NA	100%	NA	100%	100%	NA
al1	AV	H0005	n21	31	0%	59%	0%	98%	58%	37%
al1	AV	H0005	n21	34	100%	27%	3%	100%	29%	100%
al1	AV	H0015	n21	28	2%	NA	100%	0%	2%	NA
al1	AV	H0015	n21	31	46%	100%	100%	20%	53%	94%
al1	AV	H0015	n21	34	97%	90%	97%	90%	96%	99%
al1	AV	H0030	n21	28	52%	NA	100%	0%	52%	NA
al1	AV	H0030	n21	31	50%	NA	100%	0%	50%	NA
al1	AV	H0030	n21	34	90%	NA	100%	0%	90%	NA
al1	AV	H0005	n22	28	NA	0%	0%	NA	0%	NA
al1	AV	H0005	n22	31	100%	0%	1%	NA	1%	54%
al1	AV	H0005	n22	34	100%	0%	2%	NA	2%	99%
al1	AV	H0015	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0015	n22	31	100%	0%	88%	NA	88%	91%
al1	AV	H0015	n22	34	100%	0%	80%	NA	80%	87%
al1	AV	H0030	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n22	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n22	34	94%	NA	100%	0%	94%	NA
al1	MO	H0005	n1	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0005	n1	31	100%	0%	6%	NA	6%	72%
al1	MO	H0005	n1	34	100%	12%	30%	100%	36%	98%
al1	MO	H0015	n1	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n1	34	100%	0%	96%	NA	96%	99%
al1	MO	H0030	n1	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n1	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n2	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0005	n2	31	100%	0%	6%	NA	6%	52%
al1	MO	H0005	n2	34	100%	0%	28%	NA	28%	93%
al1	MO	H0015	n2	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n2	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA

al1	MO	H0015	n2	34	100%	0%	96%	NA	96%	99%
al1	MO	H0030	n2	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n2	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n2	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n21	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0005	n21	31	100%	0%	6%	NA	6%	52%
al1	MO	H0005	n21	34	100%	12%	30%	100%	36%	92%
al1	MO	H0015	n21	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n21	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n21	34	100%	67%	99%	100%	99%	98%
al1	MO	H0030	n21	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n21	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n21	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n22	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0005	n22	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0005	n22	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n22	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n22	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0015	n22	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n22	28	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n22	31	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al1	MO	H0030	n22	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA
al5	AV	H0005	n1	23	NA	51%	0%	100%	51%	NA
al5	AV	H0005	n1	25	NA	78%	0%	100%	78%	NA
al5	AV	H0005	n1	28	NA	33%	0%	100%	33%	NA
al5	AV	H0015	n1	23	100%	58%	77%	100%	83%	98%
al5	AV	H0015	n1	25	100%	63%	37%	100%	70%	99%
al5	AV	H0015	n1	28	100%	0%	56%	NA	56%	100%
al5	AV	H0030	n1	23	90%	NA	100%	0%	90%	NA
al5	AV	H0030	n1	25	100%	78%	89%	100%	92%	98%
al5	AV	H0030	n1	28	100%	0%	67%	NA	67%	100%
al5	AV	H0005	n2	23	NA	99%	0%	100%	99%	NA
al5	AV	H0005	n2	25	NA	99%	0%	100%	99%	NA
al5	AV	H0005	n2	28	NA	100%	NA	100%	100%	NA
al5	AV	H0015	n2	23	36%	100%	100%	52%	63%	96%
al5	AV	H0015	n2	25	39%	100%	100%	88%	89%	98%
al5	AV	H0015	n2	28	40%	100%	100%	57%	67%	100%
al5	AV	H0030	n2	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	AV	H0030	n2	25	86%	100%	100%	80%	91%	95%
al5	AV	H0030	n2	28	100%	0%	67%	NA	67%	100%
al5	AV	H0005	n21	23	NA	88%	0%	100%	88%	NA
al5	AV	H0005	n21	25	NA	98%	0%	100%	98%	NA
al5	AV	H0005	n21	28	NA	89%	0%	100%	89%	NA
al5	AV	H0015	n21	23	55%	100%	100%	61%	74%	97%
al5	AV	H0015	n21	25	94%	98%	89%	99%	97%	99%
al5	AV	H0015	n21	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	AV	H0030	n21	23	95%	NA	100%	0%	95%	NA
al5	AV	H0030	n21	25	91%	89%	94%	84%	90%	97%
al5	AV	H0030	n21	28	100%	0%	67%	NA	67%	100%
al5	AV	H0005	n22	23	100%	93%	55%	100%	94%	NA
al5	AV	H0005	n22	25	NA	98%	0%	100%	98%	NA
al5	AV	H0005	n22	28	NA	89%	0%	100%	89%	NA
al5	AV	H0015	n22	23	63%	100%	100%	80%	85%	99%

al5	AV	H0015	n22	25	83%	98%	88%	96%	95%	99%
al5	AV	H0015	n22	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	AV	H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	AV	H0030	n22	25	100%	97%	99%	100%	99%	100%
al5	AV	H0030	n22	28	100%	0%	67%	NA	67%	100%
al5	MO	H0005	n1	23	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0005	n1	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0005	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0015	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0015	n1	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0015	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0030	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n1	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO	H0005	n2	23	0%	100%	NA	29%	29%	89%
al5	MO	H0005	n2	25	0%	100%	NA	42%	42%	94%
al5	MO	H0005	n2	28	0%	100%	NA	51%	51%	98%
al5	MO	H0015	n2	23	0%	NA	NA	0%	0%	NA
al5	MO	H0015	n2	25	0%	100%	NA	11%	11%	89%
al5	MO	H0015	n2	28	0%	100%	NA	31%	31%	100%
al5	MO	H0030	n2	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n2	25	97%	NA	100%	0%	97%	NA
al5	MO	H0030	n2	28	85%	100%	100%	62%	88%	100%
al5	MO	H0005	n21	23	0%	100%	NA	29%	29%	83%
al5	MO	H0005	n21	25	0%	100%	NA	42%	42%	95%
al5	MO	H0005	n21	28	49%	100%	100%	67%	75%	97%
al5	MO	H0015	n21	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0015	n21	25	91%	100%	100%	57%	92%	95%
al5	MO	H0015	n21	28	68%	100%	100%	59%	78%	99%
al5	MO	H0030	n21	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n21	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n21	28	100%	0%	81%	NA	81%	98%
al5	MO	H0005	n22	23	0%	100%	NA	29%	29%	91%
al5	MO	H0005	n22	25	0%	100%	NA	42%	42%	95%
al5	MO	H0005	n22	28	0%	100%	NA	51%	51%	99%
al5	MO	H0015	n22	23	0%	NA	NA	0%	0%	NA
al5	MO	H0015	n22	25	0%	100%	NA	11%	11%	95%
al5	MO	H0015	n22	28	0%	100%	NA	31%	31%	100%
al5	MO	H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO	H0030	n22	25	72%	NA	100%	0%	72%	NA
al5	MO	H0030	n22	28	73%	100%	100%	47%	78%	100%
col	AV	H0005	n1	16	50%	100%	100%	94%	94%	95%
col	AV	H0005	n1	18	97%	100%	100%	97%	98%	100%
col	AV	H0005	n1	20	97%	93%	88%	98%	95%	98%
col	AV	H0015	n1	16	74%	81%	80%	75%	77%	85%
col	AV	H0015	n1	18	100%	96%	97%	100%	98%	100%
col	AV	H0015	n1	20	100%	61%	67%	100%	78%	97%
col	AV	H0030	n1	16	100%	0%	77%	NA	77%	94%
col	AV	H0030	n1	18	100%	37%	79%	100%	82%	97%
col	AV	H0030	n1	20	100%	78%	89%	100%	92%	99%
col	AV	H0005	n2	16	67%	100%	100%	96%	96%	88%
col	AV	H0005	n2	18	83%	100%	100%	83%	91%	100%
col	AV	H0005	n2	20	63%	100%	100%	85%	88%	98%

col	AV H0015	n2	16	26%	100%	100%	57%	62%	95%
col	AV H0015	n2	18	95%	96%	97%	93%	95%	99%
col	AV H0015	n2	20	80%	98%	97%	86%	90%	97%
col	AV H0030	n2	16	98%	75%	93%	90%	92%	93%
col	AV H0030	n2	18	87%	100%	100%	76%	91%	98%
col	AV H0030	n2	20	73%	100%	100%	67%	82%	98%
col	AV H0005	n21	16	67%	100%	100%	96%	96%	99%
col	AV H0005	n21	18	77%	100%	100%	79%	88%	100%
col	AV H0005	n21	20	40%	98%	92%	77%	79%	94%
col	AV H0015	n21	16	26%	100%	100%	57%	62%	95%
col	AV H0015	n21	18	89%	100%	100%	88%	94%	100%
col	AV H0015	n21	20	43%	100%	100%	69%	75%	95%
col	AV H0030	n21	16	80%	100%	100%	60%	85%	97%
col	AV H0030	n21	18	80%	100%	100%	68%	86%	95%
col	AV H0030	n21	20	49%	100%	100%	52%	67%	97%
col	AV H0005	n22	16	99%	99%	99%	99%	99%	NA
col	AV H0005	n22	18	97%	100%	100%	97%	98%	100%
col	AV H0005	n22	20	63%	93%	83%	84%	84%	93%
col	AV H0015	n22	16	94%	98%	99%	89%	96%	99%
col	AV H0015	n22	18	95%	96%	97%	93%	95%	99%
col	AV H0015	n22	20	78%	92%	89%	84%	86%	93%
col	AV H0030	n22	16	99%	95%	98%	97%	98%	99%
col	AV H0030	n22	18	87%	100%	100%	76%	91%	97%
col	AV H0030	n22	20	68%	100%	100%	63%	79%	99%
col	MO H0005	n1	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0005	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n1	20	100%	71%	94%	100%	95%	98%
col	MO H0015	n1	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0015	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n1	20	100%	0%	95%	NA	95%	97%
col	MO H0030	n1	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0030	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n1	20	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n2	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0005	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n2	20	100%	57%	92%	100%	93%	94%
col	MO H0015	n2	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0015	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n2	20	100%	0%	95%	NA	95%	89%
col	MO H0030	n2	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0030	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n2	20	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n21	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0005	n21	18	45%	NA	100%	0%	45%	NA
col	MO H0005	n21	20	6%	100%	100%	18%	23%	97%
col	MO H0015	n21	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0015	n21	18	82%	NA	100%	0%	82%	NA
col	MO H0015	n21	20	13%	100%	100%	6%	18%	100%
col	MO H0030	n21	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0030	n21	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n21	20	40%	NA	100%	0%	40%	NA
col	MO H0005	n22	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0005	n22	18	55%	NA	100%	0%	55%	NA

col	MO H0005	n22	20	6%	100%	100%	18%	23%	95%
col	MO H0015	n22	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0015	n22	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n22	20	16%	100%	100%	6%	20%	89%
col	MO H0030	n22	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
col	MO H0030	n22	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n22	20	33%	NA	100%	0%	33%	NA
mar	AV H0005	n1	41	100%	48%	7%	100%	50%	100%
mar	AV H0005	n1	45	100%	95%	67%	100%	95%	100%
mar	AV H0005	n1	50	100%	33%	67%	100%	71%	33%
mar	AV H0015	n1	41	100%	0%	50%	NA	50%	88%
mar	AV H0015	n1	45	100%	5%	13%	100%	17%	96%
mar	AV H0015	n1	50	100%	0%	43%	NA	43%	0%
mar	AV H0030	n1	41	100%	0%	79%	NA	79%	86%
mar	AV H0030	n1	45	100%	0%	7%	NA	7%	95%
mar	AV H0030	n1	50	100%	25%	50%	100%	57%	25%
mar	AV H0005	n2	41	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mar	AV H0005	n2	45	0%	100%	NA	90%	90%	100%
mar	AV H0005	n2	50	0%	100%	NA	43%	43%	96%
mar	AV H0015	n2	41	0%	93%	0%	48%	46%	65%
mar	AV H0015	n2	45	0%	100%	NA	88%	88%	89%
mar	AV H0015	n2	50	0%	100%	NA	57%	57%	79%
mar	AV H0030	n2	41	0%	100%	NA	21%	21%	57%
mar	AV H0030	n2	45	0%	100%	NA	93%	93%	96%
mar	AV H0030	n2	50	0%	100%	NA	57%	57%	42%
mar	AV H0005	n21	41	0%	67%	0%	95%	64%	0%
mar	AV H0005	n21	45	0%	55%	0%	84%	50%	41%
mar	AV H0005	n21	50	0%	100%	NA	43%	43%	83%
mar	AV H0015	n21	41	50%	79%	70%	61%	64%	78%
mar	AV H0015	n21	45	20%	57%	6%	84%	52%	56%
mar	AV H0015	n21	50	0%	100%	NA	57%	57%	96%
mar	AV H0030	n21	41	45%	100%	100%	33%	57%	97%
mar	AV H0030	n21	45	0%	56%	0%	88%	52%	56%
mar	AV H0030	n21	50	0%	100%	NA	57%	57%	92%
mar	AV H0005	n22	41	86%	65%	10%	99%	66%	NA
mar	AV H0005	n22	45	75%	39%	12%	94%	43%	40%
mar	AV H0005	n22	50	75%	100%	100%	75%	86%	83%
mar	AV H0015	n22	41	100%	71%	33%	100%	75%	86%
mar	AV H0015	n22	45	100%	43%	19%	100%	50%	55%
mar	AV H0015	n22	50	67%	75%	67%	75%	71%	71%
mar	AV H0030	n22	41	100%	76%	49%	100%	80%	89%
mar	AV H0030	n22	45	100%	51%	14%	100%	55%	56%
mar	AV H0030	n22	50	0%	100%	NA	57%	57%	96%
mar	MO H0005	n1	41	100%	6%	58%	100%	59%	100%
mar	MO H0005	n1	45	100%	35%	58%	100%	65%	73%
mar	MO H0005	n1	50	100%	0%	17%	NA	17%	0%
mar	MO H0015	n1	41	100%	0%	82%	NA	82%	100%
mar	MO H0015	n1	45	100%	0%	50%	NA	50%	40%
mar	MO H0015	n1	50	100%	0%	6%	NA	6%	0%
mar	MO H0030	n1	41	100%	0%	88%	NA	88%	100%
mar	MO H0030	n1	45	100%	0%	31%	NA	31%	29%
mar	MO H0030	n1	50	NA	2%	0%	100%	2%	NA
mar	MO H0005	n2	41	100%	0%	56%	NA	56%	82%

mar	MO H0005	n2	45	100%	43%	61%	100%	70%	91%
mar	MO H0005	n2	50	9%	100%	100%	84%	85%	79%
mar	MO H0015	n2	41	100%	0%	82%	NA	82%	88%
mar	MO H0015	n2	45	100%	46%	64%	100%	73%	92%
mar	MO H0015	n2	50	100%	98%	80%	100%	98%	98%
mar	MO H0030	n2	41	100%	0%	88%	NA	88%	94%
mar	MO H0030	n2	45	89%	54%	46%	91%	65%	90%
mar	MO H0030	n2	50	NA	92%	0%	100%	92%	NA
mar	MO H0005	n21	41	39%	65%	59%	45%	50%	63%
mar	MO H0005	n21	45	64%	92%	87%	74%	79%	85%
mar	MO H0005	n21	50	45%	100%	100%	90%	91%	85%
mar	MO H0015	n21	41	36%	64%	82%	18%	41%	48%
mar	MO H0015	n21	45	61%	89%	85%	70%	75%	80%
mar	MO H0015	n21	50	25%	98%	50%	95%	94%	84%
mar	MO H0030	n21	41	41%	100%	100%	18%	47%	55%
mar	MO H0030	n21	45	77%	88%	75%	90%	85%	82%
mar	MO H0030	n21	50	NA	100%	NA	100%	100%	NA
mar	MO H0005	n22	41	100%	0%	56%	NA	56%	67%
mar	MO H0005	n22	45	100%	40%	60%	100%	68%	79%
mar	MO H0005	n22	50	73%	48%	22%	90%	52%	48%
mar	MO H0015	n22	41	100%	0%	82%	NA	82%	61%
mar	MO H0015	n22	45	96%	37%	60%	91%	66%	79%
mar	MO H0015	n22	50	100%	48%	11%	100%	51%	48%
mar	MO H0030	n22	41	100%	0%	88%	NA	88%	67%
mar	MO H0030	n22	45	86%	54%	45%	89%	64%	80%
mar	MO H0030	n22	50	NA	57%	0%	100%	57%	NA
mex	AV H0005	n1	22	100%	68%	33%	100%	73%	94%
mex	AV H0005	n1	24	100%	83%	56%	100%	86%	94%
mex	AV H0005	n1	26	100%	88%	50%	100%	90%	100%
mex	AV H0015	n1	22	100%	65%	59%	100%	76%	89%
mex	AV H0015	n1	24	100%	52%	41%	100%	64%	96%
mex	AV H0015	n1	26	100%	91%	78%	100%	93%	98%
mex	AV H0030	n1	22	100%	18%	82%	100%	82%	90%
mex	AV H0030	n1	24	100%	0%	93%	NA	93%	100%
mex	AV H0030	n1	26	100%	47%	57%	100%	69%	98%
mex	AV H0005	n2	22	0%	100%	NA	86%	86%	84%
mex	AV H0005	n2	24	20%	100%	100%	85%	86%	92%
mex	AV H0005	n2	26	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	AV H0015	n2	22	100%	71%	63%	100%	80%	94%
mex	AV H0015	n2	24	100%	67%	50%	100%	75%	99%
mex	AV H0015	n2	26	100%	91%	78%	100%	93%	98%
mex	AV H0030	n2	22	100%	0%	78%	NA	78%	95%
mex	AV H0030	n2	24	100%	0%	93%	NA	93%	100%
mex	AV H0030	n2	26	100%	6%	43%	100%	45%	99%
mex	AV H0005	n21	22	0%	100%	NA	86%	86%	92%
mex	AV H0005	n21	24	20%	100%	100%	85%	86%	94%
mex	AV H0005	n21	26	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	AV H0015	n21	22	59%	100%	100%	83%	86%	95%
mex	AV H0015	n21	24	57%	100%	100%	88%	89%	99%
mex	AV H0015	n21	26	57%	100%	100%	88%	90%	98%
mex	AV H0030	n21	22	100%	0%	78%	NA	78%	96%
mex	AV H0030	n21	24	100%	0%	93%	NA	93%	98%
mex	AV H0030	n21	26	100%	24%	48%	100%	55%	94%

mex	AV H0005	n22	22	95%	98%	86%	99%	97%	NA
mex	AV H0005	n22	24	100%	96%	83%	100%	96%	98%
mex	AV H0005	n22	26	100%	96%	75%	100%	97%	100%
mex	AV H0015	n22	22	97%	98%	93%	99%	98%	100%
mex	AV H0015	n22	24	100%	95%	88%	100%	96%	99%
mex	AV H0015	n22	26	100%	95%	88%	100%	97%	99%
mex	AV H0030	n22	22	100%	86%	79%	100%	91%	98%
mex	AV H0030	n22	24	100%	0%	93%	NA	93%	98%
mex	AV H0030	n22	26	100%	59%	63%	100%	76%	99%
mex	MO H0005	n1	22	88%	97%	96%	90%	93%	98%
mex	MO H0005	n1	24	96%	100%	100%	94%	98%	100%
mex	MO H0005	n1	26	98%	93%	92%	98%	95%	99%
mex	MO H0015	n1	22	97%	100%	100%	96%	98%	100%
mex	MO H0015	n1	24	95%	100%	100%	87%	96%	99%
mex	MO H0015	n1	26	98%	98%	98%	98%	98%	99%
mex	MO H0030	n1	22	100%	13%	87%	100%	87%	94%
mex	MO H0030	n1	24	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	MO H0030	n1	26	99%	92%	98%	96%	97%	99%
mex	MO H0005	n2	22	28%	100%	100%	62%	67%	90%
mex	MO H0005	n2	24	65%	100%	100%	61%	78%	98%
mex	MO H0005	n2	26	92%	93%	92%	93%	92%	97%
mex	MO H0015	n2	22	100%	95%	97%	100%	98%	100%
mex	MO H0015	n2	24	88%	100%	100%	71%	91%	97%
mex	MO H0015	n2	26	93%	92%	93%	92%	92%	98%
mex	MO H0030	n2	22	100%	0%	85%	NA	85%	95%
mex	MO H0030	n2	24	100%	0%	93%	NA	93%	99%
mex	MO H0030	n2	26	100%	25%	82%	100%	83%	95%
mex	MO H0005	n21	22						
mex	MO H0005	n21	24						
mex	MO H0005	n21	26						
mex	MO H0015	n21	22						
mex	MO H0015	n21	24						
mex	MO H0015	n21	26						
mex	MO H0030	n21	22						
mex	MO H0030	n21	24						
mex	MO H0030	n21	26						
mex	MO H0005	n22	22	4%	100%	100%	55%	56%	90%
mex	MO H0005	n22	24	4%	100%	100%	36%	38%	98%
mex	MO H0005	n22	26	0%	100%	NA	53%	53%	98%
mex	MO H0015	n22	22	0%	100%	NA	41%	41%	99%
mex	MO H0015	n22	24	0%	100%	NA	24%	24%	98%
mex	MO H0015	n22	26	0%	100%	NA	47%	47%	98%
mex	MO H0030	n22	22	52%	100%	100%	27%	59%	89%
mex	MO H0030	n22	24	49%	100%	100%	13%	53%	99%
mex	MO H0030	n22	26	20%	100%	100%	27%	38%	95%
mon	AV H0005	n1	21	NA	92%	0%	100%	92%	NA
mon	AV H0005	n1	23	0%	90%	0%	90%	82%	85%
mon	AV H0005	n1	25	11%	93%	25%	84%	80%	79%
mon	AV H0015	n1	21	15%	100%	100%	6%	20%	94%
mon	AV H0015	n1	23	58%	100%	100%	78%	83%	98%
mon	AV H0015	n1	25	31%	80%	73%	40%	49%	68%
mon	AV H0030	n1	21	72%	NA	100%	0%	72%	NA
mon	AV H0030	n1	23	35%	NA	100%	0%	35%	NA

mon	AV H0030	n1	25	67%	100%	100%	15%	69%	99%
mon	AV H0005	n2	21						
mon	AV H0005	n2	23						
mon	AV H0005	n2	25						
mon	AV H0015	n2	21						
mon	AV H0015	n2	23						
mon	AV H0015	n2	25						
mon	AV H0030	n2	21						
mon	AV H0030	n2	23						
mon	AV H0030	n2	25						
mon	AV H0005	n21	21	NA	4%	0%	100%	4%	NA
mon	AV H0005	n21	23	100%	28%	12%	100%	34%	70%
mon	AV H0005	n21	25	100%	20%	20%	100%	33%	54%
mon	AV H0015	n21	21	96%	0%	95%	0%	91%	89%
mon	AV H0015	n21	23	100%	41%	54%	100%	65%	89%
mon	AV H0015	n21	25	100%	45%	76%	100%	80%	60%
mon	AV H0030	n21	21	96%	NA	100%	0%	96%	NA
mon	AV H0030	n21	23	76%	NA	100%	0%	76%	NA
mon	AV H0030	n21	25	88%	100%	100%	33%	89%	95%
mon	AV H0005	n22	21	100%	75%	71%	100%	85%	NA
mon	AV H0005	n22	23	100%	83%	37%	100%	85%	92%
mon	AV H0005	n22	25	100%	54%	30%	100%	62%	89%
mon	AV H0015	n22	21	100%	0%	90%	NA	90%	97%
mon	AV H0015	n22	23	100%	39%	53%	100%	64%	96%
mon	AV H0015	n22	25	100%	45%	76%	100%	80%	85%
mon	AV H0030	n22	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	AV H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	AV H0030	n22	25	100%	33%	96%	100%	96%	97%
mon	MO H0005	n1	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0005	n1	23	0%	NA	NA	0%	0%	NA
mon	MO H0005	n1	25	24%	100%	100%	28%	41%	100%
mon	MO H0015	n1	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0015	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n1	25	45%	NA	100%	0%	45%	NA
mon	MO H0030	n1	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0030	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n1	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n2	21						
mon	MO H0005	n2	23						
mon	MO H0005	n2	25						
mon	MO H0015	n2	21						
mon	MO H0015	n2	23						
mon	MO H0015	n2	25						
mon	MO H0030	n2	21						
mon	MO H0030	n2	23						
mon	MO H0030	n2	25						
mon	MO H0005	n21	21						
mon	MO H0005	n21	23						
mon	MO H0005	n21	25						
mon	MO H0015	n21	21						
mon	MO H0015	n21	23						
mon	MO H0015	n21	25						
mon	MO H0030	n21	21						

mon	MO H0030	n21	23						
mon	MO H0030	n21	25						
mon	MO H0005	n22	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0005	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n22	25	100%	0%	77%	NA	77%	74%
mon	MO H0015	n22	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0015	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n22	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n22	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA
mon	MO H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n22	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
poi	AV H0005	n1	28	100%	0%	24%	NA	24%	100%
poi	AV H0005	n1	31	100%	0%	19%	NA	19%	100%
poi	AV H0005	n1	34	100%	0%	22%	NA	22%	100%
poi	AV H0015	n1	28	100%	0%	34%	NA	34%	100%
poi	AV H0015	n1	31	100%	0%	24%	NA	24%	99%
poi	AV H0015	n1	34	100%	0%	22%	NA	22%	100%
poi	AV H0030	n1	28	100%	0%	76%	NA	76%	98%
poi	AV H0030	n1	31	100%	0%	48%	NA	48%	100%
poi	AV H0030	n1	34	100%	0%	33%	NA	33%	97%
poi	AV H0005	n2	28	100%	28%	30%	100%	45%	93%
poi	AV H0005	n2	31	100%	53%	33%	100%	62%	98%
poi	AV H0005	n2	34	100%	14%	25%	100%	33%	100%
poi	AV H0015	n2	28	100%	24%	41%	100%	50%	95%
poi	AV H0015	n2	31	100%	44%	36%	100%	57%	100%
poi	AV H0015	n2	34	100%	0%	22%	NA	22%	100%
poi	AV H0030	n2	28	100%	0%	76%	NA	76%	92%
poi	AV H0030	n2	31	100%	0%	48%	NA	48%	100%
poi	AV H0030	n2	34	100%	17%	38%	100%	44%	86%
poi	AV H0005	n21	28	100%	24%	29%	100%	42%	94%
poi	AV H0005	n21	31	100%	47%	31%	100%	57%	99%
poi	AV H0005	n21	34	100%	14%	25%	100%	33%	100%
poi	AV H0015	n21	28	100%	24%	41%	100%	50%	95%
poi	AV H0015	n21	31	100%	44%	36%	100%	57%	100%
poi	AV H0015	n21	34	100%	0%	22%	NA	22%	100%
poi	AV H0030	n21	28	100%	0%	76%	NA	76%	92%
poi	AV H0030	n21	31	100%	0%	48%	NA	48%	100%
poi	AV H0030	n21	34	100%	17%	38%	100%	44%	86%
poi	AV H0005	n22	28	100%	21%	28%	100%	39%	95%
poi	AV H0005	n22	31	100%	47%	31%	100%	57%	99%
poi	AV H0005	n22	34	100%	0%	22%	NA	22%	100%
poi	AV H0015	n22	28	100%	20%	39%	100%	47%	94%
poi	AV H0015	n22	31	100%	31%	31%	100%	48%	99%
poi	AV H0015	n22	34	100%	0%	22%	NA	22%	96%
poi	AV H0030	n22	28	100%	0%	76%	NA	76%	92%
poi	AV H0030	n22	31	100%	0%	48%	NA	48%	100%
poi	AV H0030	n22	34	100%	17%	38%	100%	44%	86%
poi	MO H0005	n1	28	100%	0%	70%	NA	70%	98%
poi	MO H0005	n1	31	100%	0%	53%	NA	53%	98%
poi	MO H0005	n1	34	100%	1%	13%	100%	14%	100%
poi	MO H0015	n1	28	100%	0%	78%	NA	78%	100%
poi	MO H0015	n1	31	100%	0%	55%	NA	55%	99%
poi	MO H0015	n1	34	100%	1%	13%	100%	14%	99%

poi	MO	H0030	n1	28	100%	0%	84%	NA	84%	100%
poi	MO	H0030	n1	31	100%	0%	56%	NA	56%	98%
poi	MO	H0030	n1	34	100%	2%	28%	100%	28%	96%
poi	MO	H0005	n2	28	100%	0%	70%	NA	70%	97%
poi	MO	H0005	n2	31	100%	19%	58%	100%	62%	97%
poi	MO	H0005	n2	34	100%	18%	15%	100%	28%	95%
poi	MO	H0015	n2	28	100%	0%	78%	NA	78%	100%
poi	MO	H0015	n2	31	100%	16%	60%	100%	63%	99%
poi	MO	H0015	n2	34	100%	17%	14%	100%	27%	98%
poi	MO	H0030	n2	28	100%	0%	84%	NA	84%	100%
poi	MO	H0030	n2	31	100%	6%	58%	100%	59%	98%
poi	MO	H0030	n2	34	100%	27%	34%	100%	47%	99%
poi	MO	H0005	n21	28	100%	0%	70%	NA	70%	98%
poi	MO	H0005	n21	31	100%	4%	54%	100%	54%	97%
poi	MO	H0005	n21	34	100%	3%	13%	100%	15%	95%
poi	MO	H0015	n21	28	100%	0%	78%	NA	78%	99%
poi	MO	H0015	n21	31	100%	4%	56%	100%	57%	99%
poi	MO	H0015	n21	34	100%	3%	13%	100%	15%	98%
poi	MO	H0030	n21	28	100%	0%	84%	NA	84%	98%
poi	MO	H0030	n21	31	100%	4%	57%	100%	58%	99%
poi	MO	H0030	n21	34	100%	15%	31%	100%	38%	97%
poi	MO	H0005	n22	28	100%	0%	70%	NA	70%	98%
poi	MO	H0005	n22	31	100%	13%	56%	100%	59%	97%
poi	MO	H0005	n22	34	100%	15%	14%	100%	26%	92%
poi	MO	H0015	n22	28	100%	0%	78%	NA	78%	99%
poi	MO	H0015	n22	31	100%	6%	57%	100%	58%	99%
poi	MO	H0015	n22	34	100%	11%	14%	100%	22%	98%
poi	MO	H0030	n22	28	100%	0%	84%	NA	84%	99%
poi	MO	H0030	n22	31	100%	6%	58%	100%	59%	99%
poi	MO	H0030	n22	34	100%	24%	33%	100%	44%	99%

Tableau 4 Résultats bruts des simulations sans restriction

Sol	Climat	Sortie	Indicateur	Seuil	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
al1	AV	H0005	n1	28	98%	66%	49%	99%	74%	94%
al1	AV	H0005	n1	31	85%	74%	22%	98%	75%	94%
al1	AV	H0005	n1	34	100%	54%	21%	100%	59%	100%
al1	AV	H0015	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0015	n1	31	79%	100%	100%	36%	82%	100%
al1	AV	H0015	n1	34	95%	50%	89%	71%	87%	90%
al1	AV	H0030	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n1	34	94%	NA	100%	0%	94%	NA
al1	AV	H0005	n2	28	90%	63%	46%	95%	70%	93%
al1	AV	H0005	n2	31	85%	58%	15%	98%	60%	89%
al1	AV	H0005	n2	34	100%	31%	15%	100%	39%	98%
al1	AV	H0015	n2	28	52%	NA	100%	0%	52%	NA
al1	AV	H0015	n2	31	52%	100%	100%	19%	57%	96%
al1	AV	H0015	n2	34	93%	100%	100%	77%	94%	98%
al1	AV	H0030	n2	28	82%	NA	100%	0%	82%	NA
al1	AV	H0030	n2	31	54%	NA	100%	0%	54%	NA
al1	AV	H0030	n2	34	91%	NA	100%	0%	91%	NA
al1	AV	H0005	n21	28	90%	63%	46%	95%	70%	94%
al1	AV	H0005	n21	31	85%	56%	15%	98%	59%	89%
al1	AV	H0005	n21	34	100%	27%	15%	100%	35%	98%
al1	AV	H0015	n21	28	52%	NA	100%	0%	52%	NA
al1	AV	H0015	n21	31	53%	100%	100%	20%	58%	95%
al1	AV	H0015	n21	34	98%	90%	98%	90%	96%	99%
al1	AV	H0030	n21	28	82%	NA	100%	0%	82%	NA
al1	AV	H0030	n21	31	56%	NA	100%	0%	56%	NA
al1	AV	H0030	n21	34	91%	NA	100%	0%	91%	NA
al1	AV	H0005	n22	28	100%	0%	25%	NA	25%	93%
al1	AV	H0005	n22	31	100%	0%	8%	NA	8%	92%
al1	AV	H0005	n22	34	100%	0%	11%	NA	11%	100%
al1	AV	H0015	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0015	n22	31	100%	0%	90%	NA	90%	93%
al1	AV	H0015	n22	34	100%	0%	81%	NA	81%	89%
al1	AV	H0030	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n22	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	AV	H0030	n22	34	94%	NA	100%	0%	94%	NA
al1	MO	H0005	n1	28	100%	0%	97%	NA	97%	99%
al1	MO	H0005	n1	31	100%	0%	67%	NA	67%	98%
al1	MO	H0005	n1	34	100%	12%	61%	100%	63%	99%
al1	MO	H0015	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n1	34	100%	0%	98%	NA	98%	100%
al1	MO	H0030	n1	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n1	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n1	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n2	28	100%	0%	97%	NA	97%	100%
al1	MO	H0005	n2	31	100%	0%	67%	NA	67%	97%
al1	MO	H0005	n2	34	100%	0%	58%	NA	58%	97%

al1	MO	H0015	n2	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n2	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n2	34	100%	0%	98%	NA	98%	100%
al1	MO	H0030	n2	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n2	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n2	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n21	28	100%	0%	97%	NA	97%	99%
al1	MO	H0005	n21	31	100%	0%	67%	NA	67%	96%
al1	MO	H0005	n21	34	100%	12%	61%	100%	63%	97%
al1	MO	H0015	n21	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n21	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n21	34	100%	67%	99%	100%	99%	99%
al1	MO	H0030	n21	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n21	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n21	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0005	n22	28	100%	0%	97%	NA	97%	99%
al1	MO	H0005	n22	31	100%	0%	67%	NA	67%	96%
al1	MO	H0005	n22	34	100%	12%	61%	100%	63%	97%
al1	MO	H0015	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n22	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0015	n22	34	100%	67%	99%	100%	99%	99%
al1	MO	H0030	n22	28	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n22	31	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al1	MO	H0030	n22	34	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	AV	H0005	n1	23	100%	49%	22%	100%	55%	100%
al5	AV	H0005	n1	25	100%	84%	27%	100%	85%	100%
al5	AV	H0005	n1	28	100%	33%	54%	100%	63%	100%
al5	AV	H0015	n1	23	100%	58%	82%	100%	85%	99%
al5	AV	H0015	n1	25	100%	76%	48%	100%	80%	100%
al5	AV	H0015	n1	28	100%	0%	75%	NA	75%	100%
al5	AV	H0030	n1	23	92%	NA	100%	0%	92%	NA
al5	AV	H0030	n1	25	100%	90%	91%	100%	95%	99%
al5	AV	H0030	n1	28	100%	0%	81%	NA	81%	96%
al5	AV	H0005	n2	23	100%	96%	80%	100%	97%	100%
al5	AV	H0005	n2	25	89%	99%	80%	99%	98%	100%
al5	AV	H0005	n2	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	AV	H0015	n2	23	52%	100%	100%	52%	69%	97%
al5	AV	H0015	n2	25	62%	100%	100%	92%	93%	99%
al5	AV	H0015	n2	28	75%	100%	100%	57%	81%	100%
al5	AV	H0030	n2	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	AV	H0030	n2	25	88%	100%	100%	90%	94%	98%
al5	AV	H0030	n2	28	100%	0%	81%	NA	81%	100%
al5	AV	H0005	n21	23	100%	85%	48%	100%	86%	100%
al5	AV	H0005	n21	25	100%	97%	69%	100%	97%	100%
al5	AV	H0005	n21	28	100%	89%	88%	100%	94%	100%
al5	AV	H0015	n21	23	67%	100%	100%	61%	78%	98%
al5	AV	H0015	n21	25	97%	98%	93%	99%	98%	100%
al5	AV	H0015	n21	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	AV	H0030	n21	23	96%	NA	100%	0%	96%	NA
al5	AV	H0030	n21	25	92%	95%	95%	93%	94%	99%
al5	AV	H0030	n21	28	100%	0%	81%	NA	81%	100%
al5	AV	H0005	n22	23	100%	93%	55%	100%	94%	NA

al5	AV H0005	n22	25	100%	97%	69%	100%	97%	100%
al5	AV H0005	n22	28	100%	89%	88%	100%	94%	100%
al5	AV H0015	n22	23	63%	100%	100%	80%	85%	99%
al5	AV H0015	n22	25	90%	98%	93%	98%	97%	100%
al5	AV H0015	n22	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	AV H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	AV H0030	n22	25	100%	99%	99%	100%	99%	100%
al5	AV H0030	n22	28	100%	0%	81%	NA	81%	100%
al5	MO H0005	n1	23	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0005	n1	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0005	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0015	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0015	n1	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0015	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0030	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n1	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n1	28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
al5	MO H0005	n2	23	62%	100%	100%	10%	63%	99%
al5	MO H0005	n2	25	31%	100%	100%	17%	40%	99%
al5	MO H0005	n2	28	4%	100%	100%	35%	37%	99%
al5	MO H0015	n2	23	81%	NA	100%	0%	81%	NA
al5	MO H0015	n2	25	70%	100%	100%	10%	71%	97%
al5	MO H0015	n2	28	28%	100%	100%	27%	43%	100%
al5	MO H0030	n2	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n2	25	99%	NA	100%	0%	99%	NA
al5	MO H0030	n2	28	91%	100%	100%	62%	92%	100%
al5	MO H0005	n21	23	67%	100%	100%	11%	68%	98%
al5	MO H0005	n21	25	67%	100%	100%	29%	71%	99%
al5	MO H0005	n21	28	73%	100%	100%	66%	82%	98%
al5	MO H0015	n21	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0015	n21	25	97%	100%	100%	57%	98%	99%
al5	MO H0015	n21	28	81%	100%	100%	59%	85%	99%
al5	MO H0030	n21	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n21	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n21	28	100%	0%	87%	NA	87%	99%
al5	MO H0005	n22	23	52%	100%	100%	8%	54%	99%
al5	MO H0005	n22	25	30%	100%	100%	16%	38%	99%
al5	MO H0005	n22	28	5%	100%	100%	35%	37%	100%
al5	MO H0015	n22	23	79%	NA	100%	0%	79%	NA
al5	MO H0015	n22	25	61%	100%	100%	8%	63%	99%
al5	MO H0015	n22	28	25%	100%	100%	26%	41%	100%
al5	MO H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
al5	MO H0030	n22	25	92%	NA	100%	0%	92%	NA
al5	MO H0030	n22	28	83%	100%	100%	47%	85%	100%
col	AV H0005	n1	16	96%	100%	100%	94%	98%	98%
col	AV H0005	n1	18	99%	100%	100%	99%	99%	67%
col	AV H0005	n1	20	98%	93%	91%	98%	95%	99%
col	AV H0015	n1	16	93%	81%	95%	75%	91%	96%
col	AV H0015	n1	18	100%	99%	99%	100%	99%	100%
col	AV H0015	n1	20	100%	61%	73%	100%	81%	98%
col	AV H0030	n1	16	100%	0%	91%	NA	91%	98%
col	AV H0030	n1	18	100%	66%	78%	100%	85%	99%

col	AV H0030	n1	20	100%	78%	91%	100%	93%	100%
col	AV H0005	n2	16	98%	100%	100%	96%	98%	91%
col	AV H0005	n2	18	92%	100%	100%	93%	96%	63%
col	AV H0005	n2	20	74%	100%	100%	85%	89%	99%
col	AV H0015	n2	16	81%	100%	100%	57%	85%	99%
col	AV H0015	n2	18	97%	99%	99%	98%	98%	100%
col	AV H0015	n2	20	85%	98%	98%	86%	91%	98%
col	AV H0030	n2	16	99%	75%	98%	90%	97%	97%
col	AV H0030	n2	18	93%	99%	99%	92%	96%	99%
col	AV H0030	n2	20	78%	100%	100%	67%	85%	99%
col	AV H0005	n21	16	98%	100%	100%	96%	98%	100%
col	AV H0005	n21	18	89%	100%	100%	91%	95%	79%
col	AV H0005	n21	20	58%	98%	96%	77%	82%	95%
col	AV H0015	n21	16	81%	100%	100%	57%	85%	99%
col	AV H0015	n21	18	95%	100%	100%	95%	97%	100%
col	AV H0015	n21	20	57%	100%	100%	69%	78%	96%
col	AV H0030	n21	16	93%	100%	100%	60%	94%	99%
col	AV H0030	n21	18	90%	100%	100%	89%	94%	99%
col	AV H0030	n21	20	58%	100%	100%	52%	71%	98%
col	AV H0005	n22	16	99%	99%	99%	99%	99%	NA
col	AV H0005	n22	18	99%	100%	100%	99%	99%	90%
col	AV H0005	n22	20	74%	93%	89%	84%	86%	95%
col	AV H0015	n22	16	94%	98%	99%	89%	96%	99%
col	AV H0015	n22	18	97%	99%	99%	98%	98%	100%
col	AV H0015	n22	20	83%	92%	92%	84%	88%	95%
col	AV H0030	n22	16	99%	95%	98%	97%	98%	99%
col	AV H0030	n22	18	93%	100%	100%	92%	96%	99%
col	AV H0030	n22	20	74%	100%	100%	63%	82%	99%
col	MO H0005	n1	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n1	20	100%	71%	98%	100%	98%	100%
col	MO H0015	n1	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n1	20	100%	0%	98%	NA	98%	99%
col	MO H0030	n1	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n1	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n1	20	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n2	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n2	20	100%	57%	97%	100%	98%	98%
col	MO H0015	n2	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n2	20	100%	0%	98%	NA	98%	97%
col	MO H0030	n2	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n2	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n2	20	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n21	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n21	18	95%	NA	100%	0%	95%	NA
col	MO H0005	n21	20	67%	100%	100%	16%	69%	99%
col	MO H0015	n21	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n21	18	98%	NA	100%	0%	98%	NA
col	MO H0015	n21	20	71%	100%	100%	5%	72%	100%

col	MO H0030	n21	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n21	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n21	20	80%	NA	100%	0%	80%	NA
col	MO H0005	n22	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0005	n22	18	96%	NA	100%	0%	96%	NA
col	MO H0005	n22	20	67%	100%	100%	16%	69%	98%
col	MO H0015	n22	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n22	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0015	n22	20	70%	100%	100%	5%	71%	97%
col	MO H0030	n22	16	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n22	18	100%	NA	100%	NA	100%	NA
col	MO H0030	n22	20	77%	NA	100%	0%	77%	NA
mar	AV H0005	n1	41	100%	48%	33%	100%	59%	100%
mar	AV H0005	n1	45	100%	99%	78%	100%	99%	100%
mar	AV H0005	n1	50	100%	33%	67%	100%	71%	33%
mar	AV H0015	n1	41	100%	0%	59%	NA	59%	90%
mar	AV H0015	n1	45	100%	75%	18%	100%	76%	99%
mar	AV H0015	n1	50	100%	0%	43%	NA	43%	0%
mar	AV H0030	n1	41	100%	0%	82%	NA	82%	89%
mar	AV H0030	n1	45	100%	46%	7%	100%	48%	99%
mar	AV H0030	n1	50	100%	25%	50%	100%	57%	25%
mar	AV H0005	n2	41	71%	100%	100%	93%	94%	100%
mar	AV H0005	n2	45	14%	100%	100%	96%	96%	100%
mar	AV H0005	n2	50	0%	100%	NA	43%	43%	96%
mar	AV H0015	n2	41	20%	93%	80%	45%	50%	75%
mar	AV H0015	n2	45	13%	100%	100%	96%	96%	98%
mar	AV H0015	n2	50	0%	100%	NA	57%	57%	79%
mar	AV H0030	n2	41	4%	100%	100%	18%	21%	67%
mar	AV H0030	n2	45	0%	100%	NA	96%	96%	99%
mar	AV H0030	n2	50	0%	100%	NA	57%	57%	42%
mar	AV H0005	n21	41	71%	67%	36%	90%	68%	57%
mar	AV H0005	n21	45	29%	85%	8%	96%	82%	79%
mar	AV H0005	n21	50	0%	100%	NA	43%	43%	83%
mar	AV H0015	n21	41	60%	79%	80%	58%	68%	78%
mar	AV H0015	n21	45	25%	85%	8%	95%	82%	84%
mar	AV H0015	n21	50	0%	100%	NA	57%	57%	96%
mar	AV H0030	n21	41	50%	100%	100%	30%	59%	96%
mar	AV H0030	n21	45	0%	83%	0%	95%	80%	81%
mar	AV H0030	n21	50	0%	100%	NA	57%	57%	92%
mar	AV H0005	n22	41	86%	65%	10%	99%	66%	NA
mar	AV H0005	n22	45	86%	79%	16%	99%	79%	78%
mar	AV H0005	n22	50	75%	100%	100%	75%	86%	83%
mar	AV H0015	n22	41	100%	71%	33%	100%	75%	86%
mar	AV H0015	n22	45	100%	79%	21%	100%	80%	85%
mar	AV H0015	n22	50	67%	75%	67%	75%	71%	71%
mar	AV H0030	n22	41	100%	76%	49%	100%	80%	89%
mar	AV H0030	n22	45	100%	81%	17%	100%	82%	84%
mar	AV H0030	n22	50	0%	100%	NA	57%	57%	96%
mar	MO H0005	n1	41	100%	6%	70%	100%	71%	100%
mar	MO H0005	n1	45	100%	44%	58%	100%	68%	77%
mar	MO H0005	n1	50	100%	0%	17%	NA	17%	0%
mar	MO H0015	n1	41	100%	0%	87%	NA	87%	100%

mar	MO H0015	n1	45	100%	4%	47%	100%	48%	49%
mar	MO H0015	n1	50	100%	0%	6%	NA	6%	0%
mar	MO H0030	n1	41	100%	0%	92%	NA	92%	100%
mar	MO H0030	n1	45	100%	0%	28%	NA	28%	38%
mar	MO H0030	n1	50	NA	2%	0%	100%	2%	NA
mar	MO H0005	n2	41	100%	0%	69%	NA	69%	88%
mar	MO H0005	n2	45	100%	51%	61%	100%	72%	92%
mar	MO H0005	n2	50	9%	100%	100%	84%	85%	79%
mar	MO H0015	n2	41	100%	0%	87%	NA	87%	92%
mar	MO H0015	n2	45	100%	54%	64%	100%	75%	93%
mar	MO H0015	n2	50	100%	98%	80%	100%	98%	98%
mar	MO H0030	n2	41	100%	0%	92%	NA	92%	96%
mar	MO H0030	n2	45	89%	59%	46%	93%	67%	91%
mar	MO H0030	n2	50	NA	92%	0%	100%	92%	NA
mar	MO H0005	n21	41	59%	65%	79%	42%	61%	75%
mar	MO H0005	n21	45	64%	93%	87%	77%	80%	87%
mar	MO H0005	n21	50	45%	100%	100%	90%	91%	85%
mar	MO H0015	n21	41	53%	64%	91%	17%	54%	62%
mar	MO H0015	n21	45	61%	91%	85%	73%	77%	82%
mar	MO H0015	n21	50	25%	98%	50%	95%	94%	84%
mar	MO H0030	n21	41	53%	100%	100%	16%	57%	66%
mar	MO H0030	n21	45	77%	90%	75%	91%	86%	83%
mar	MO H0030	n21	50	NA	100%	NA	100%	100%	NA
mar	MO H0005	n22	41	100%	0%	69%	NA	69%	77%
mar	MO H0005	n22	45	100%	49%	60%	100%	71%	82%
mar	MO H0005	n22	50	73%	48%	22%	90%	52%	48%
mar	MO H0015	n22	41	100%	0%	87%	NA	87%	72%
mar	MO H0015	n22	45	96%	46%	60%	94%	69%	82%
mar	MO H0015	n22	50	100%	48%	11%	100%	51%	48%
mar	MO H0030	n22	41	100%	0%	92%	NA	92%	76%
mar	MO H0030	n22	45	86%	59%	45%	91%	67%	81%
mar	MO H0030	n22	50	NA	57%	0%	100%	57%	NA
mex	AV H0005	n1	22	100%	68%	58%	100%	78%	98%
mex	AV H0005	n1	24	100%	97%	75%	100%	97%	100%
mex	AV H0005	n1	26	100%	88%	70%	100%	91%	100%
mex	AV H0015	n1	22	100%	65%	71%	100%	81%	93%
mex	AV H0015	n1	24	100%	91%	52%	100%	92%	100%
mex	AV H0015	n1	26	100%	91%	85%	100%	94%	99%
mex	AV H0030	n1	22	100%	18%	85%	100%	86%	92%
mex	AV H0030	n1	24	100%	83%	62%	100%	87%	97%
mex	AV H0030	n1	26	100%	47%	64%	100%	73%	98%
mex	AV H0005	n2	22	42%	100%	100%	80%	83%	94%
mex	AV H0005	n2	24	67%	100%	100%	97%	97%	99%
mex	AV H0005	n2	26	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	AV H0015	n2	22	100%	71%	74%	100%	84%	97%
mex	AV H0015	n2	24	100%	95%	67%	100%	96%	100%
mex	AV H0015	n2	26	100%	91%	85%	100%	94%	99%
mex	AV H0030	n2	22	100%	0%	83%	NA	83%	96%
mex	AV H0030	n2	24	100%	34%	30%	100%	48%	99%
mex	AV H0030	n2	26	100%	6%	50%	100%	52%	99%
mex	AV H0005	n21	22	47%	100%	100%	81%	84%	97%
mex	AV H0005	n21	24	67%	100%	100%	97%	97%	100%

mex	AV H0005	n21	26	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	AV H0015	n21	22	76%	100%	100%	83%	89%	97%
mex	AV H0015	n21	24	79%	100%	100%	98%	98%	100%
mex	AV H0015	n21	26	73%	100%	100%	88%	91%	99%
mex	AV H0030	n21	22	100%	0%	83%	NA	83%	97%
mex	AV H0030	n21	24	100%	50%	36%	100%	61%	99%
mex	AV H0030	n21	26	100%	24%	55%	100%	61%	96%
mex	AV H0005	n22	22	95%	98%	86%	99%	97%	NA
mex	AV H0005	n22	24	100%	99%	92%	100%	99%	100%
mex	AV H0005	n22	26	100%	96%	88%	100%	97%	100%
mex	AV H0015	n22	22	97%	98%	93%	99%	98%	100%
mex	AV H0015	n22	24	100%	99%	93%	100%	99%	100%
mex	AV H0015	n22	26	100%	95%	92%	100%	97%	99%
mex	AV H0030	n22	22	100%	86%	79%	100%	91%	98%
mex	AV H0030	n22	24	100%	91%	76%	100%	93%	100%
mex	AV H0030	n22	26	100%	59%	70%	100%	79%	99%
mex	MO H0005	n1	22	97%	97%	99%	90%	97%	100%
mex	MO H0005	n1	24	97%	100%	100%	96%	98%	100%
mex	MO H0005	n1	26	98%	93%	93%	98%	95%	99%
mex	MO H0015	n1	22	99%	100%	100%	96%	99%	100%
mex	MO H0015	n1	24	97%	100%	100%	92%	98%	100%
mex	MO H0015	n1	26	98%	98%	98%	98%	98%	99%
mex	MO H0030	n1	22	100%	13%	94%	100%	94%	98%
mex	MO H0030	n1	24	100%	100%	100%	100%	100%	100%
mex	MO H0030	n1	26	99%	92%	98%	96%	97%	99%
mex	MO H0005	n2	22	74%	100%	100%	55%	80%	97%
mex	MO H0005	n2	24	76%	100%	100%	70%	85%	99%
mex	MO H0005	n2	26	92%	93%	92%	93%	93%	97%
mex	MO H0015	n2	22	100%	95%	99%	100%	99%	100%
mex	MO H0015	n2	24	91%	100%	100%	81%	93%	99%
mex	MO H0015	n2	26	93%	92%	93%	92%	93%	98%
mex	MO H0030	n2	22	100%	0%	93%	NA	93%	98%
mex	MO H0030	n2	24	100%	0%	83%	NA	83%	100%
mex	MO H0030	n2	26	100%	25%	82%	100%	83%	96%
mex	MO H0005	n21							
mex	MO H0005	n21							
mex	MO H0005	n21							
mex	MO H0015	n21							
mex	MO H0015	n21							
mex	MO H0015	n21							
mex	MO H0030	n21							
mex	MO H0030	n21							
mex	MO H0030	n21							
mex	MO H0005	n22	22	29%	100%	100%	31%	46%	97%
mex	MO H0005	n22	24	10%	100%	100%	39%	43%	99%
mex	MO H0005	n22	26	2%	100%	100%	53%	53%	98%
mex	MO H0015	n22	22	26%	100%	100%	23%	39%	100%
mex	MO H0015	n22	24	3%	100%	100%	29%	31%	99%
mex	MO H0015	n22	26	2%	100%	100%	46%	47%	99%
mex	MO H0030	n22	22	81%	100%	100%	27%	82%	96%
mex	MO H0030	n22	24	61%	100%	100%	34%	67%	99%
mex	MO H0030	n22	26	22%	100%	100%	27%	39%	95%

mon	AV H0005	n1	21	97%	83%	79%	97%	88%	94%
mon	AV H0005	n1	23	69%	89%	77%	84%	82%	94%
mon	AV H0005	n1	25	70%	93%	90%	80%	83%	93%
mon	AV H0015	n1	21	57%	100%	100%	6%	58%	97%
mon	AV H0015	n1	23	79%	100%	100%	78%	88%	99%
mon	AV H0015	n1	25	62%	80%	91%	40%	66%	82%
mon	AV H0030	n1	21	86%	NA	100%	0%	86%	NA
mon	AV H0030	n1	23	54%	NA	100%	0%	54%	NA
mon	AV H0030	n1	25	79%	100%	100%	15%	80%	99%
mon	AV H0005	n2	21						
mon	AV H0005	n2	23						
mon	AV H0005	n2	25						
mon	AV H0015	n2	21						
mon	AV H0015	n2	23						
mon	AV H0015	n2	25						
mon	AV H0030	n2	21						
mon	AV H0030	n2	23						
mon	AV H0030	n2	25						
mon	AV H0005	n21	21	100%	3%	42%	100%	43%	77%
mon	AV H0005	n21	23	100%	27%	42%	100%	52%	78%
mon	AV H0005	n21	25	100%	20%	50%	100%	55%	64%
mon	AV H0015	n21	21	98%	0%	97%	0%	95%	94%
mon	AV H0015	n21	23	100%	41%	70%	100%	75%	93%
mon	AV H0015	n21	25	100%	45%	85%	100%	87%	61%
mon	AV H0030	n21	21	98%	NA	100%	0%	98%	NA
mon	AV H0030	n21	23	83%	NA	100%	0%	83%	NA
mon	AV H0030	n21	25	93%	100%	100%	33%	93%	96%
mon	AV H0005	n22	21	100%	75%	71%	100%	85%	NA
mon	AV H0005	n22	23	100%	82%	74%	100%	88%	97%
mon	AV H0005	n22	25	100%	54%	64%	100%	75%	97%
mon	AV H0015	n22	21	100%	0%	90%	NA	90%	97%
mon	AV H0015	n22	23	100%	39%	69%	100%	75%	98%
mon	AV H0015	n22	25	100%	45%	85%	100%	87%	92%
mon	AV H0030	n22	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	AV H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	AV H0030	n22	25	100%	33%	98%	100%	98%	98%
mon	MO H0005	n1	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n1	23	96%	NA	100%	0%	96%	NA
mon	MO H0005	n1	25	86%	100%	100%	23%	86%	100%
mon	MO H0015	n1	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n1	25	90%	NA	100%	0%	90%	NA
mon	MO H0030	n1	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n1	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n2	21						
mon	MO H0005	n2	23						
mon	MO H0005	n2	25						
mon	MO H0015	n2	21						
mon	MO H0015	n2	23						
mon	MO H0015	n2	25						
mon	MO H0030	n2	21						

mon	MO H0030	n2	23						
mon	MO H0030	n2	25						
mon	MO H0005	n21	21						
mon	MO H0005	n21	23						
mon	MO H0005	n21	25						
mon	MO H0015	n21	21						
mon	MO H0015	n21	23						
mon	MO H0015	n21	25						
mon	MO H0030	n21	21						
mon	MO H0030	n21	23						
mon	MO H0030	n21	25						
mon	MO H0005	n22	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0005	n22	25	100%	0%	96%	NA	96%	93%
mon	MO H0015	n22	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0015	n22	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n22	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n22	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
mon	MO H0030	n22	25	100%	NA	100%	NA	100%	NA
poi	AV H0005	n1	28	100%	75%	27%	100%	77%	100%
poi	AV H0005	n1	31	100%	86%	22%	100%	87%	100%
poi	AV H0005	n1	34	100%	94%	25%	100%	94%	100%
poi	AV H0015	n1	28	100%	59%	23%	100%	64%	100%
poi	AV H0015	n1	31	100%	78%	18%	100%	79%	100%
poi	AV H0015	n1	34	100%	91%	18%	100%	91%	100%
poi	AV H0030	n1	28	100%	40%	32%	100%	53%	100%
poi	AV H0030	n1	31	100%	61%	17%	100%	64%	100%
poi	AV H0030	n1	34	100%	82%	13%	100%	82%	100%
poi	AV H0005	n2	28	100%	75%	27%	100%	77%	99%
poi	AV H0005	n2	31	100%	90%	27%	100%	90%	100%
poi	AV H0005	n2	34	100%	95%	27%	100%	95%	100%
poi	AV H0015	n2	28	100%	76%	33%	100%	79%	99%
poi	AV H0015	n2	31	100%	88%	28%	100%	89%	100%
poi	AV H0015	n2	34	100%	94%	23%	100%	94%	100%
poi	AV H0030	n2	28	100%	69%	48%	100%	76%	97%
poi	AV H0030	n2	31	100%	77%	26%	100%	79%	99%
poi	AV H0030	n2	34	100%	91%	22%	100%	91%	99%
poi	AV H0005	n21	28	100%	75%	26%	100%	77%	99%
poi	AV H0005	n21	31	100%	89%	26%	100%	89%	100%
poi	AV H0005	n21	34	100%	95%	27%	100%	95%	100%
poi	AV H0015	n21	28	100%	76%	33%	100%	79%	99%
poi	AV H0015	n21	31	100%	88%	27%	100%	88%	100%
poi	AV H0015	n21	34	100%	94%	23%	100%	94%	100%
poi	AV H0030	n21	28	100%	69%	47%	100%	75%	98%
poi	AV H0030	n21	31	100%	77%	26%	100%	79%	99%
poi	AV H0030	n21	34	100%	91%	22%	100%	91%	99%
poi	AV H0005	n22	28	100%	74%	25%	100%	76%	99%
poi	AV H0005	n22	31	100%	88%	25%	100%	89%	100%
poi	AV H0005	n22	34	100%	94%	23%	100%	94%	100%
poi	AV H0015	n22	28	100%	75%	32%	100%	77%	99%
poi	AV H0015	n22	31	100%	86%	24%	100%	86%	100%

poi	AV	H0015	n22	34	100%	94%	23%	100%	94%	100%
poi	AV	H0030	n22	28	100%	67%	46%	100%	74%	98%
poi	AV	H0030	n22	31	100%	77%	26%	100%	79%	99%
poi	AV	H0030	n22	34	100%	91%	22%	100%	91%	99%
poi	MO	H0005	n1	28	100%	0%	77%	NA	77%	99%
poi	MO	H0005	n1	31	100%	18%	53%	100%	57%	98%
poi	MO	H0005	n1	34	100%	37%	12%	100%	42%	100%
poi	MO	H0015	n1	28	100%	0%	84%	NA	84%	100%
poi	MO	H0015	n1	31	100%	6%	52%	100%	53%	99%
poi	MO	H0015	n1	34	100%	24%	10%	100%	30%	99%
poi	MO	H0030	n1	28	100%	0%	88%	NA	88%	100%
poi	MO	H0030	n1	31	100%	0%	51%	NA	51%	98%
poi	MO	H0030	n1	34	100%	21%	21%	100%	35%	98%
poi	MO	H0005	n2	28	100%	0%	77%	NA	77%	98%
poi	MO	H0005	n2	31	100%	34%	58%	100%	65%	97%
poi	MO	H0005	n2	34	100%	49%	15%	100%	53%	97%
poi	MO	H0015	n2	28	100%	0%	84%	NA	84%	100%
poi	MO	H0015	n2	31	100%	32%	60%	100%	66%	99%
poi	MO	H0015	n2	34	100%	48%	14%	100%	52%	99%
poi	MO	H0030	n2	28	100%	0%	88%	NA	88%	100%
poi	MO	H0030	n2	31	100%	23%	57%	100%	62%	98%
poi	MO	H0030	n2	34	100%	56%	33%	100%	64%	99%
poi	MO	H0005	n21	28	100%	0%	77%	NA	77%	98%
poi	MO	H0005	n21	31	100%	20%	53%	100%	58%	97%
poi	MO	H0005	n21	34	100%	34%	12%	100%	40%	97%
poi	MO	H0015	n21	28	100%	0%	84%	NA	84%	99%
poi	MO	H0015	n21	31	100%	21%	56%	100%	60%	99%
poi	MO	H0015	n21	34	100%	34%	12%	100%	40%	99%
poi	MO	H0030	n21	28	100%	0%	88%	NA	88%	99%
poi	MO	H0030	n21	31	100%	11%	54%	100%	56%	99%
poi	MO	H0030	n21	34	100%	48%	29%	100%	57%	98%
poi	MO	H0005	n22	28	100%	0%	77%	NA	77%	99%
poi	MO	H0005	n22	31	100%	29%	56%	100%	63%	97%
poi	MO	H0005	n22	34	100%	47%	14%	100%	52%	95%
poi	MO	H0015	n22	28	100%	0%	84%	NA	84%	100%
poi	MO	H0015	n22	31	100%	24%	57%	100%	62%	99%
poi	MO	H0015	n22	34	100%	44%	14%	100%	48%	99%
poi	MO	H0030	n22	28	100%	0%	88%	NA	88%	100%
poi	MO	H0030	n22	31	100%	20%	56%	100%	60%	99%
poi	MO	H0030	n22	34	100%	54%	32%	100%	62%	99%

Tableau 5 Récapitulatif des cas de référence positifs et négatifs pour les différents climats, seuils et sorties des simulations de référence. Test avec restriction.

AV-	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	0	149	80	69	149	0
Alp5	0	138	48	90	138	0
Col	20	52	30	42	39	33
Mar	1	125	17	109	31	95
Mex	11	36	19	28	46	1
Mon	0	81	70	11	81	0
Poi	8	50	12	46	28	30
MO-	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	3	47	50	0	50	0
Alp5	9	3	12	0	12	0
Col	42	17	47	12	55	4
Mar	36	47	56	27	64	19
Mex	20	26	26	20	44	2
Mon	0	0	0	0	0	0
Poi	53	30	62	21	68	15
AV=	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	2	143	10	135	45	100
Alp5	0	102	18	84	63	39
Col	6	54	7	53	12	48
Mar	4	38	5	37	3	39
Mex	4	24	7	21	26	2
Mon	10	101	41	70	111	0
Poi	5	26	5	26	9	22
MO=	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	55	61	77	39	112	4
Alp5	19	17	32	4	36	0
Col	64	49	70	43	80	33
Mar	52	61	55	58	29	84
Mex	52	33	62	23	79	6
Mon	1	0	1	0	1	0
Poi	51	64	55	60	59	56
AV+	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	4	47	5	46	5	46
Alp5	0	43	5	38	24	19
Col	4	22	4	22	6	20
Mar	4	11	4	11	3	12
Mex	3	19	4	18	11	11
Mon	10	95	33	72	62	43
Poi	2	9	2	9	3	8
MO+	posH0005	negH0005	posH0015	negH0015	posH0030	negH0030
Alp1	37	86	42	81	42	81
Alp5	38	39	53	24	63	14
Col	30	70	29	71	23	77
Mar	14	73	4	83	0	87
Mex	39	58	43	54	74	23
Mon	17	6	23	0	23	0
Poi	6	81	6	81	18	69

AV, AV- et AV+ correspondent respectivement au seuil de capacité au champ, à ce seuil -10% et + 10%, pour le climat d'Avignon.

MO, MO- et MO+ correspondent respectivement au seuil de capacité au champ, à ce seuil -10% et + 10%, pour le climat de Mons

H0005, H0015 et H0030 correspondent respectivement aux couches de sortie de profondeur 0-5cm, 0-15cm et 0-30cm

pos correspond au nombre de cas positif et neg au nombre de cas négatifs

Tableau 6 Relevés d'humidités effectués lors de l'expérimentation.

Placette	Profondeur	Relevés coté l'ouest de l'ornière			Relevés coté l'est de l'ornière			Moyennes d'humidité volumique (en%)	Moyenne
1	0-8	23,4	21,7		26,1	21,4		23	25
1	0-15	29	23	25	27	25		26	
1	0-20	25	23		27	25		25	
2	0-8	22	29		24	23		24	24
2	0-15	24	26		24	25		25	
2	0-20	28	23		20	25		24	
3	0-8	26	23	25	27	28		26	24
3	0-15	27	25		27	26		26	
3	0-20	21	21	20	21	20		20	
4	0-8	27	26		27	29		27	23
4	0-15	24	22		24	25		24	
4	0-20	18	19		24	17		19	
5	0-8	22	22		25	25		24	22
5	0-15	21	26					23	
5	0-20	19	25	18	22	18		20	
6	0-8	26	24		27	26	26,8	26	23
6	0-15								
6	0-20	17	20		19	21		19	
7	0-8								#DIV/0!
7	0-15								
7	0-20								
8	0-8	27	30		29	30		29	24
8	0-15								
8	0-20	17	22		20	18		19	
9	0-8	27	29		25	25		27	23
9	0-15								
9	0-20	18	25		16	21		20	
10	0-8	21	20		27	27		24	21
10	0-15								
10	0-20	18	17		17	18		17	

Figure 5 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 2

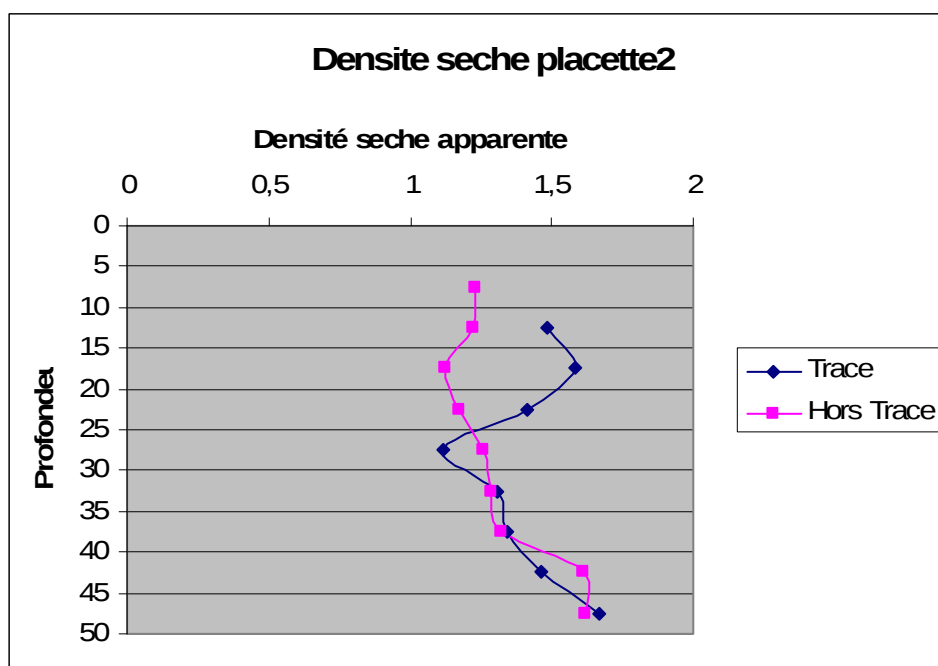


Figure 6 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 6

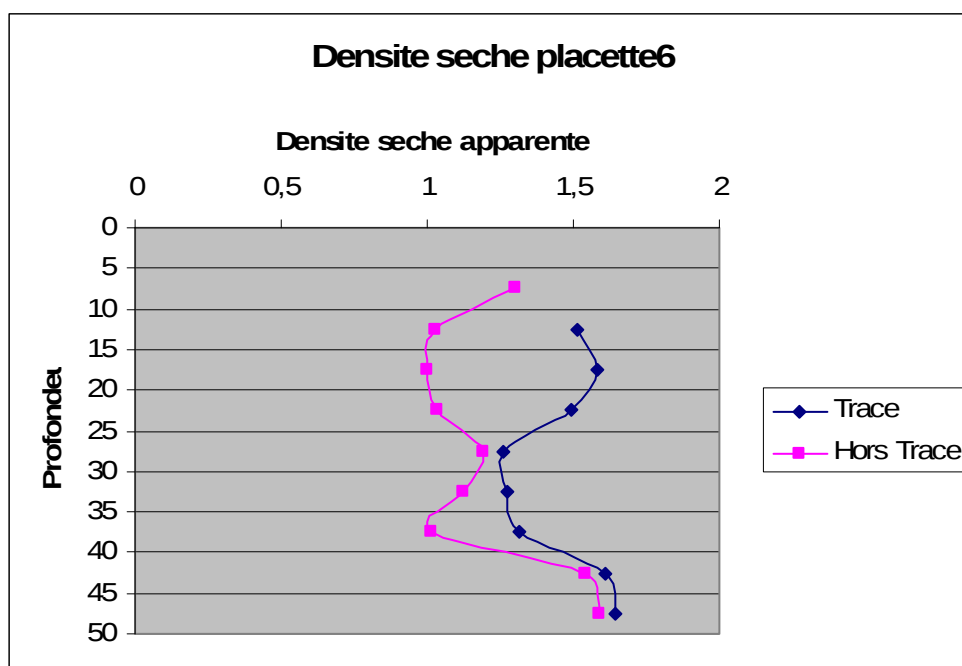


Figure 7 Tassement obtenu lors de l'expérimentation tassement de sol – placette 9

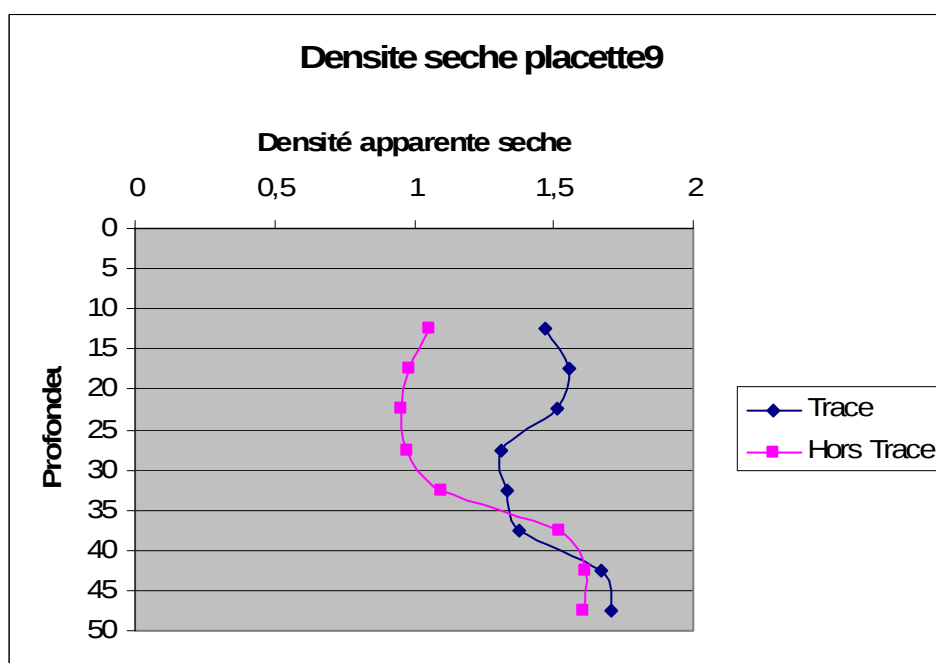


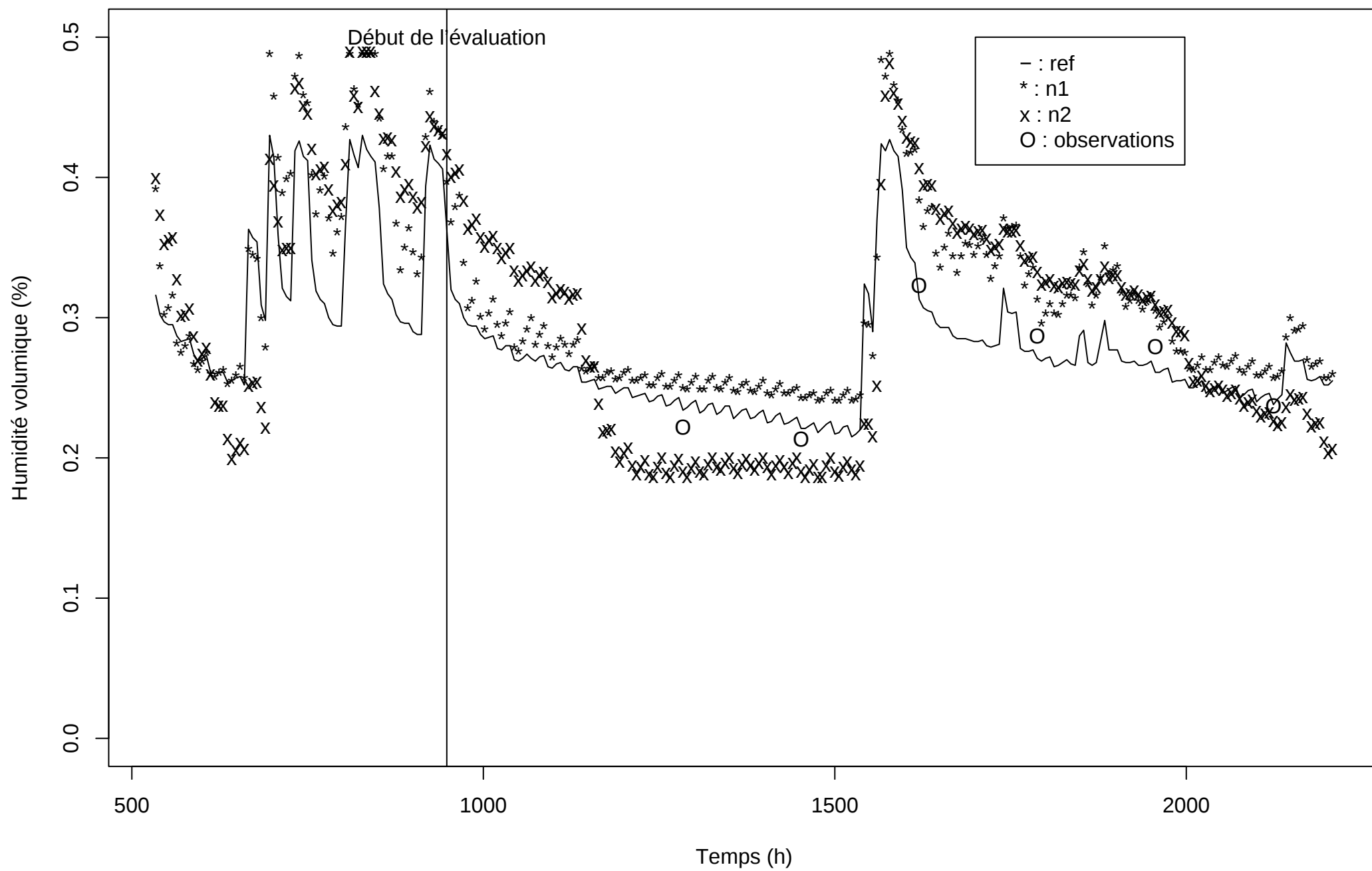
Tableau 7 Résultats bruts de l'expérimentation

Sortie	Indicateur	Seuil	Psensi	Pspe	VPP	VPN	Pre	AUC
H0010	n1	23	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0010	n1	25	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0020	n1	25	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0010	n2	23	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0020	n2	25	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0010	n21	23	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0020	n21	25	100%	0%	25%	NA	25%	100%
H0010	n2	25	100%	33%	33%	100%	50%	100%
H0010	n21	25	100%	33%	33%	100%	50%	100%
H0010	n1	21	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0020	n1	23	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0030	n1	25	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0010	n2	21	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0020	n2	23	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0030	n2	25	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0010	n21	21	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0020	n21	23	100%	0%	75%	NA	75%	100%
H0030	n21	25	100%	0%	75%	NA	75%	94%
H0020	n22	21	75%	NA	100%	0%	75%	NA
H0030	n22	21	75%	NA	100%	0%	75%	NA
H0010	n22	23	100%	67%	50%	100%	75%	100%
H0020	n22	23	67%	100%	100%	50%	75%	100%
H0030	n22	23	75%	NA	100%	0%	75%	NA
H0030	n22	25	67%	100%	100%	50%	75%	100%
H0020	n1	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n1	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n1	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0020	n2	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n2	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n2	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0020	n21	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n21	21	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0030	n21	23	100%	NA	100%	NA	100%	NA
H0010	n22	21	100%	100%	100%	100%	100%	100%
H0010	n22	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%
H0020	n22	25	100%	100%	100%	100%	100%	100%

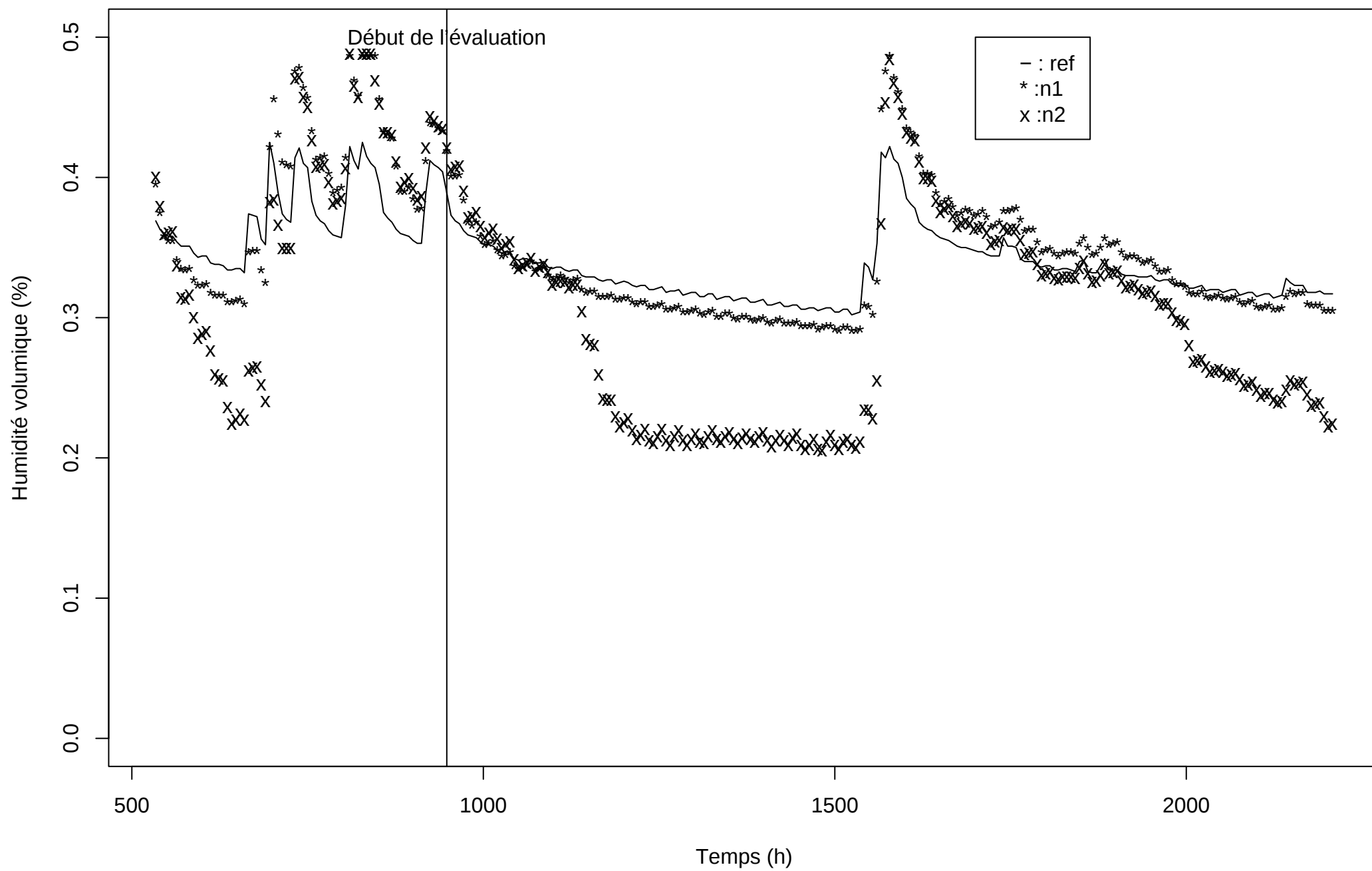
Figures 8 Simulations effectuées pour le sol Alp1 (al1), Alp5 (al5), col, mar, mon et mex sous le climat d'Avignon (av) puis sous le climat de mons (mo). Ces simulations sont suivies par celle effectuée de manière expérimentale.

mo désigne le climat de Mons, av celui d'Avignon

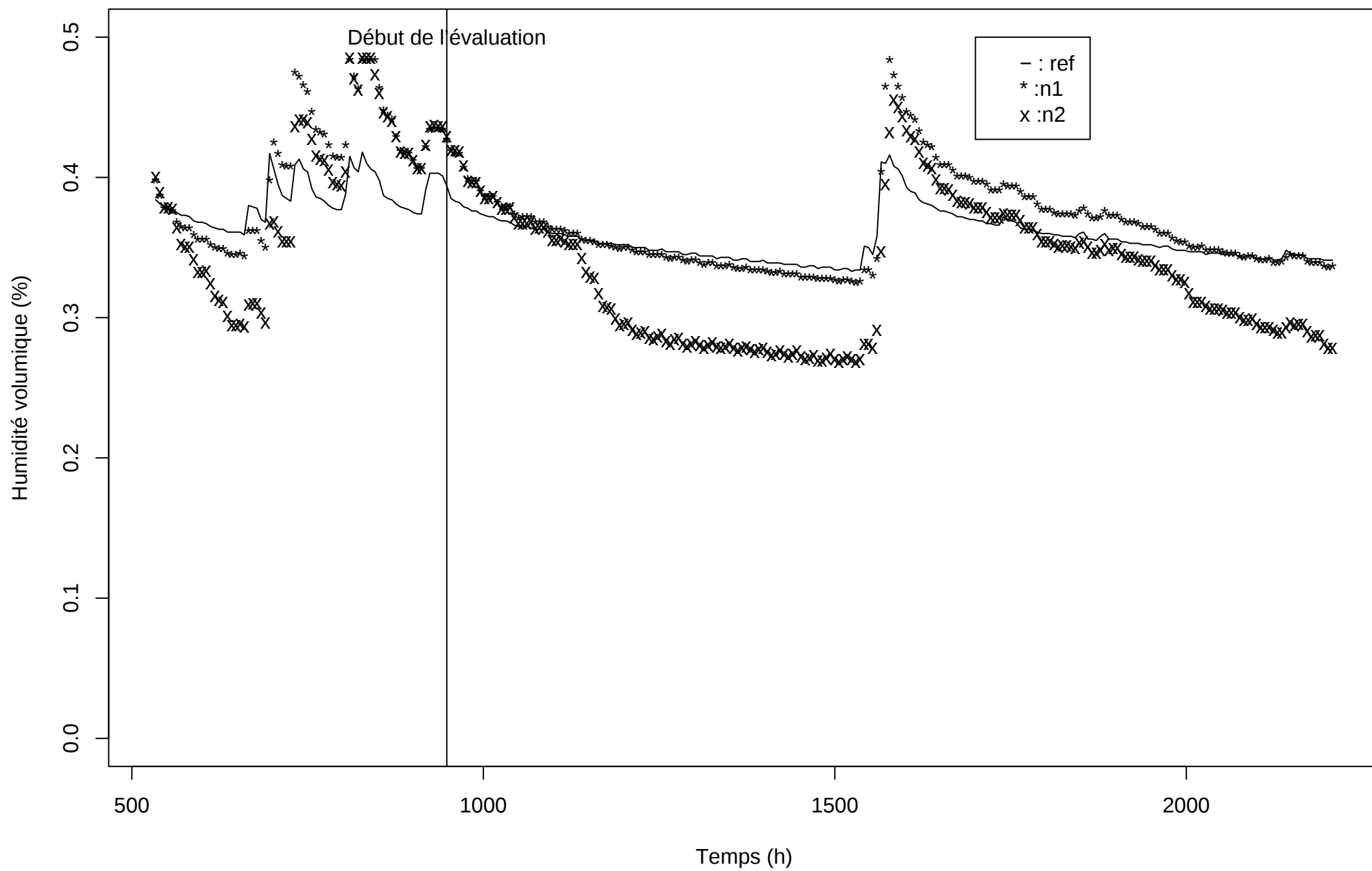
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0005



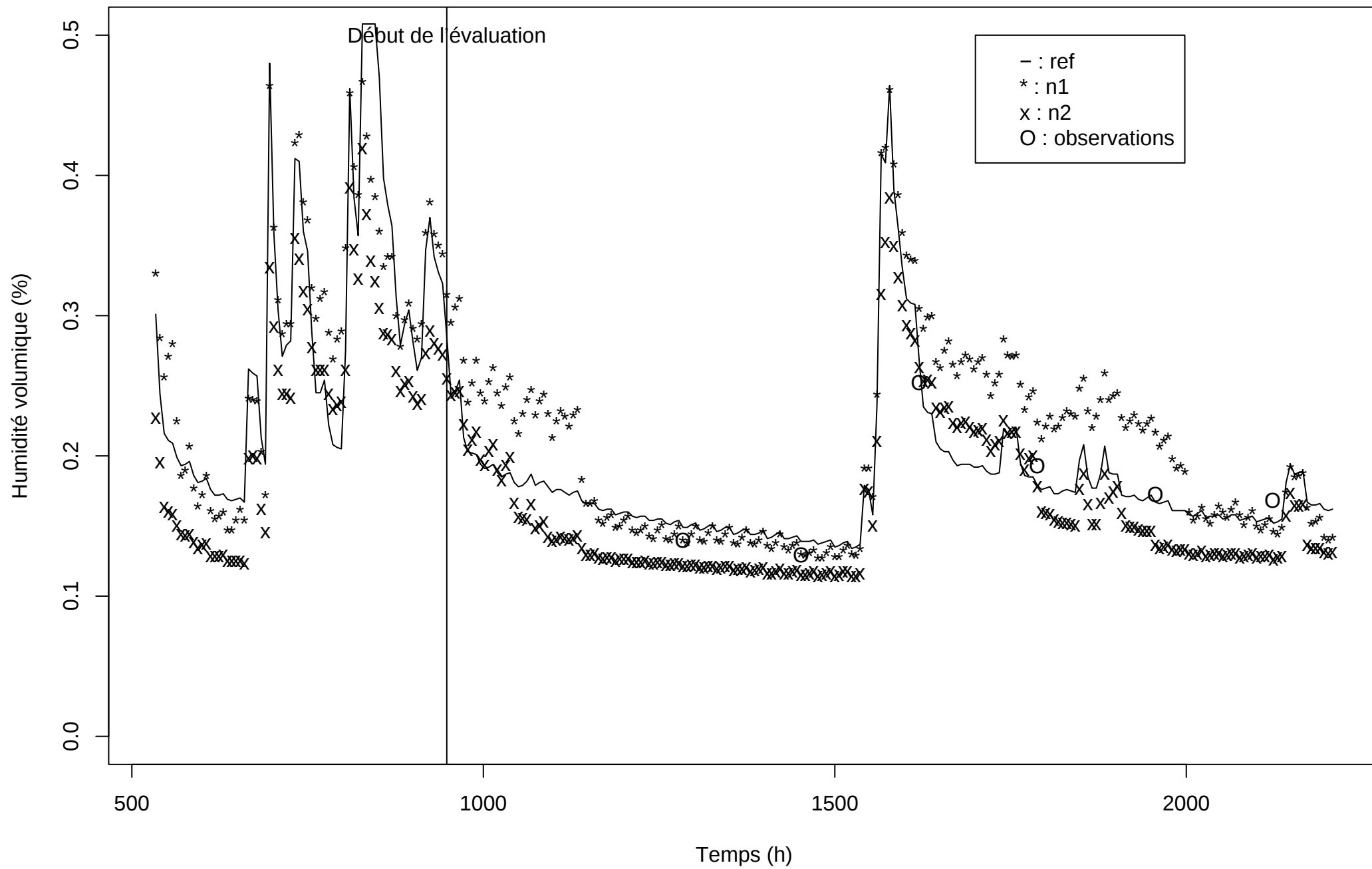
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0015



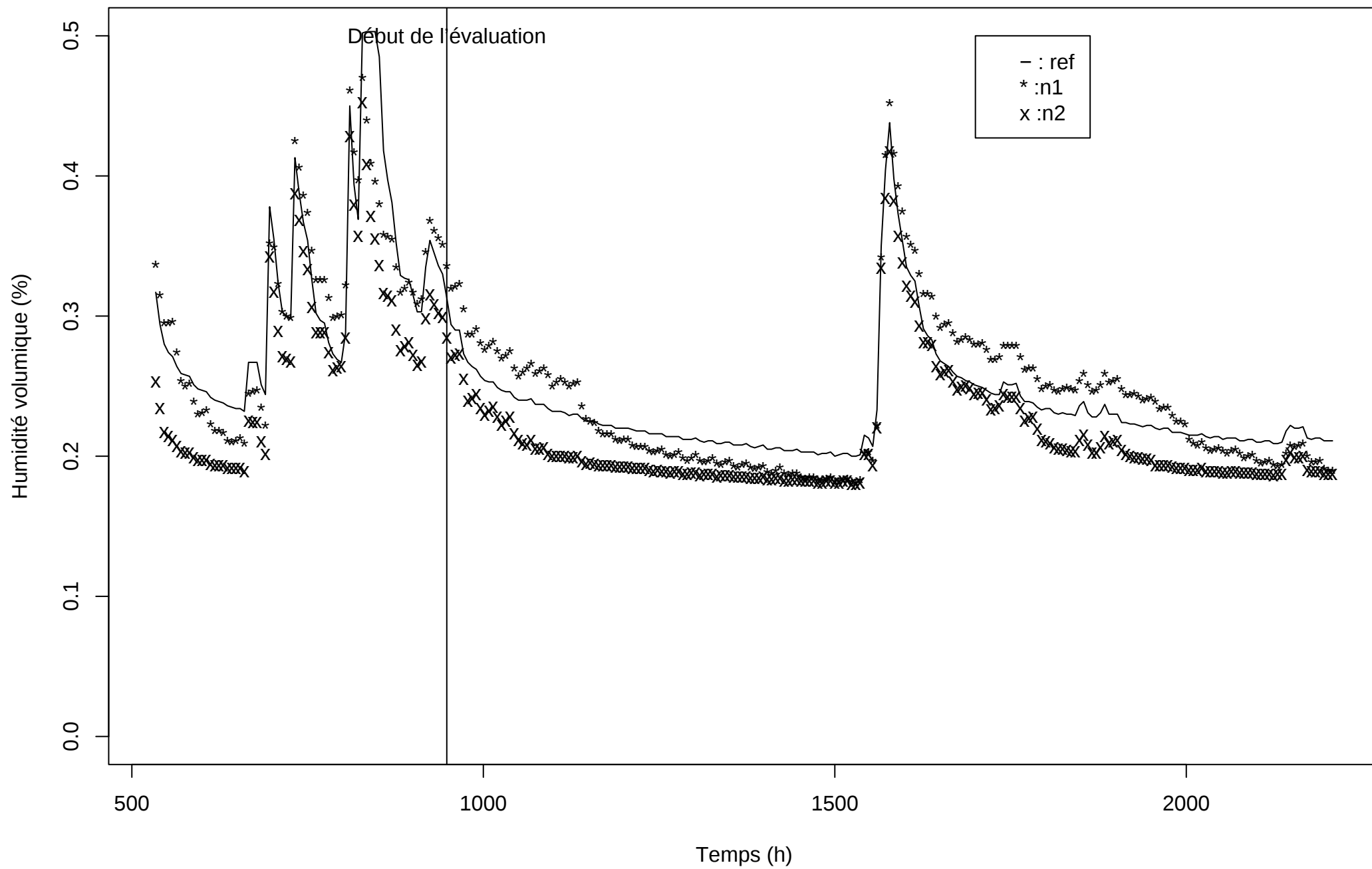
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0030



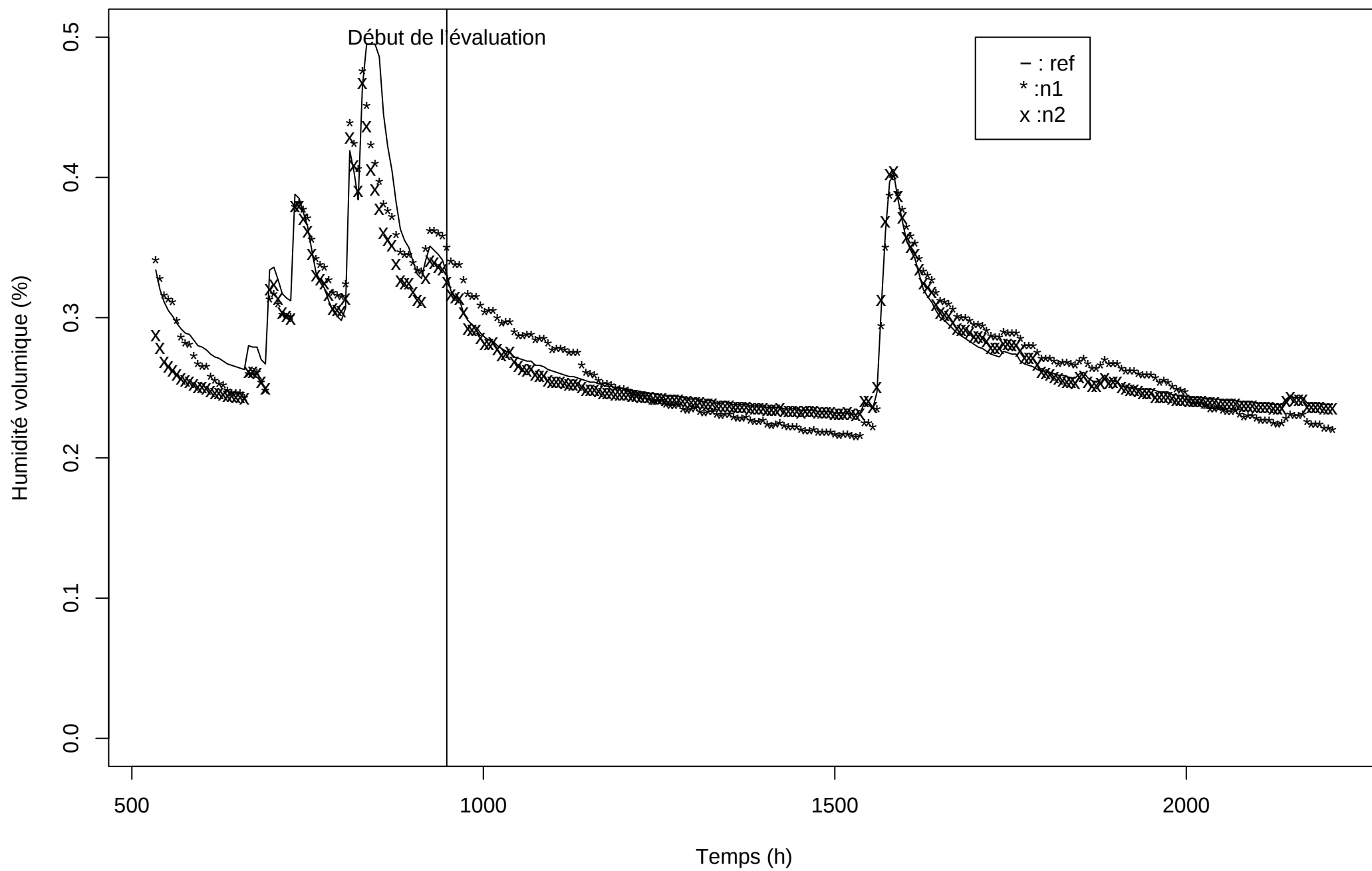
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0005



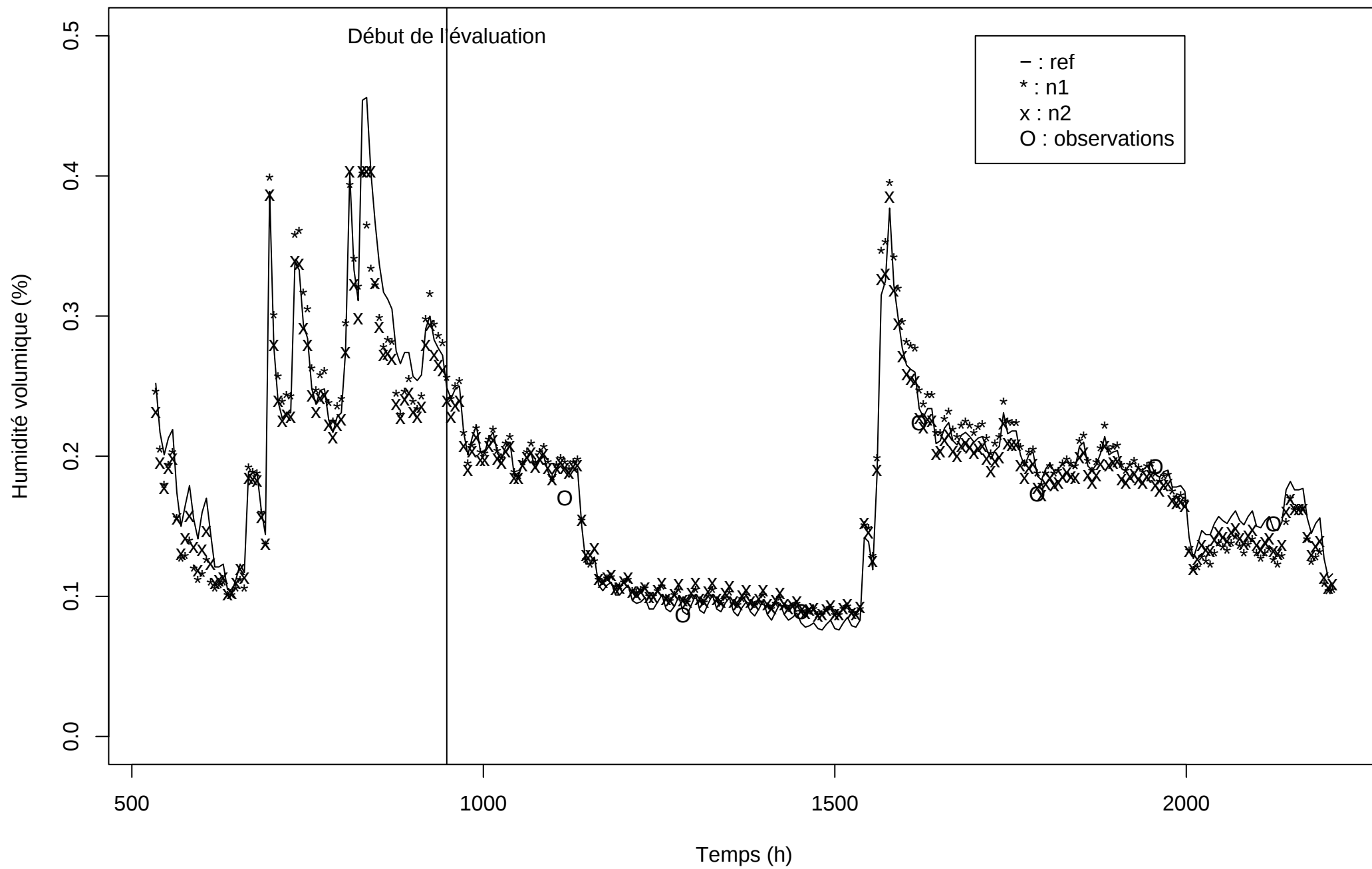
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0015



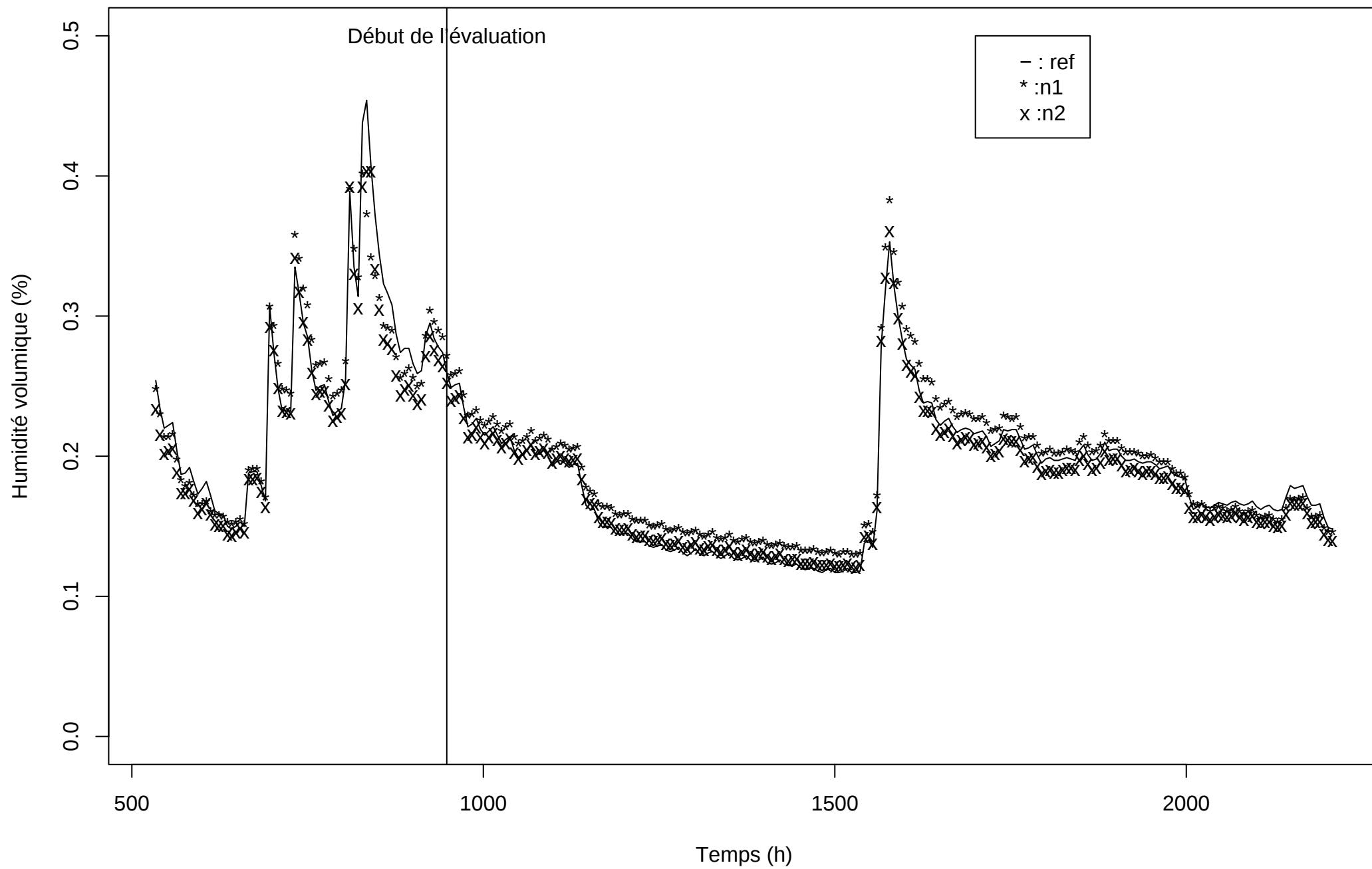
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0030



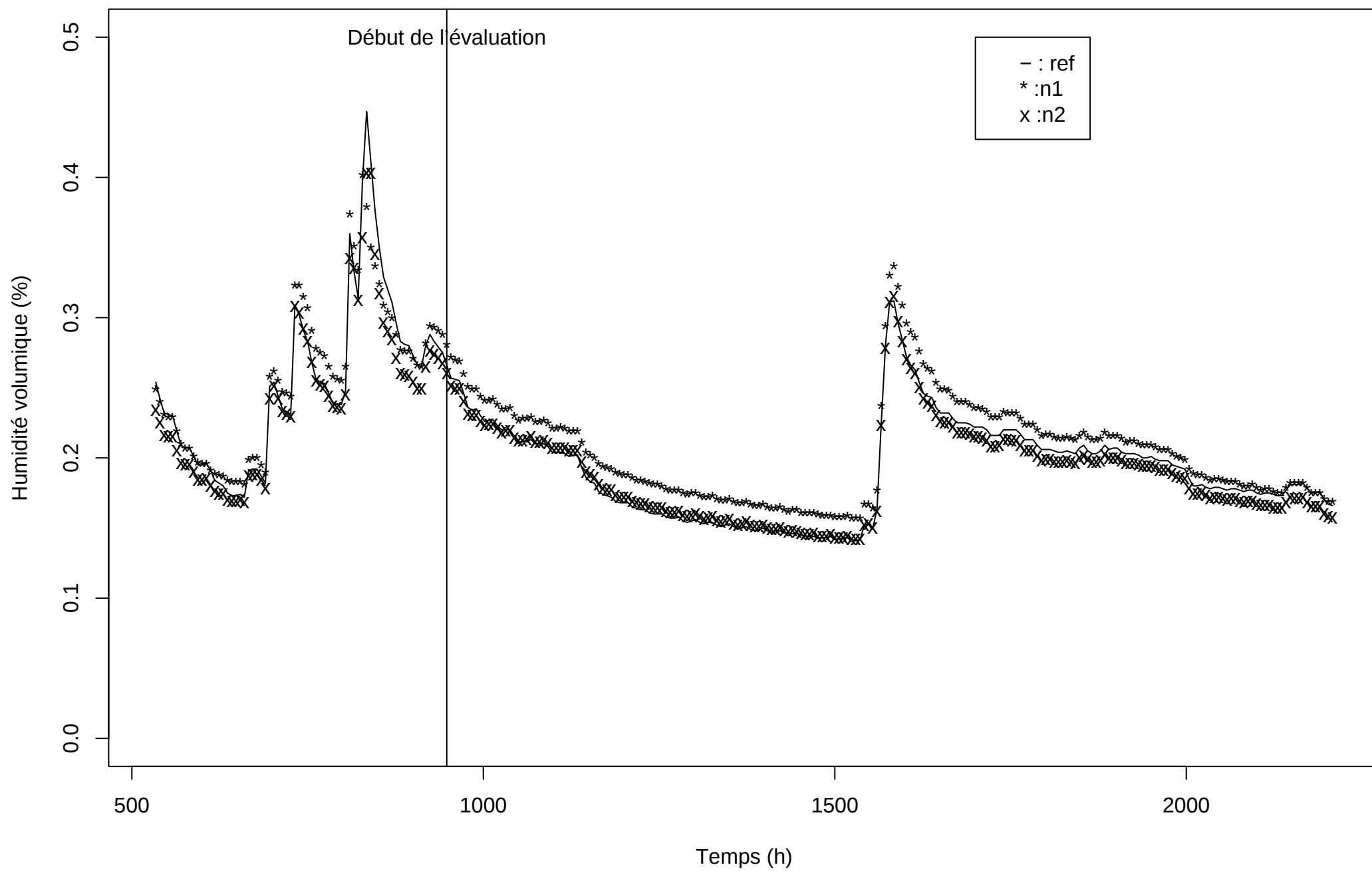
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0005



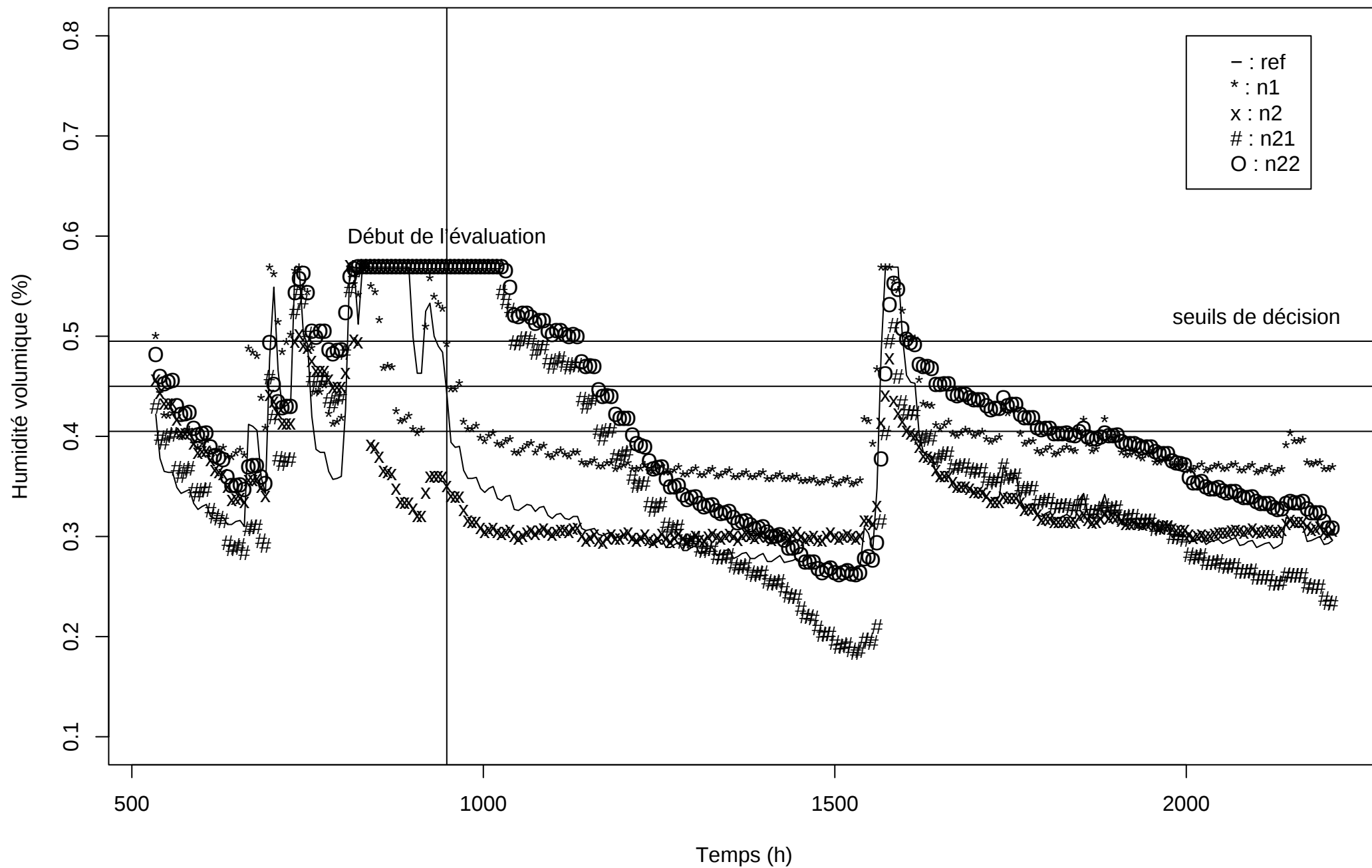
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0015



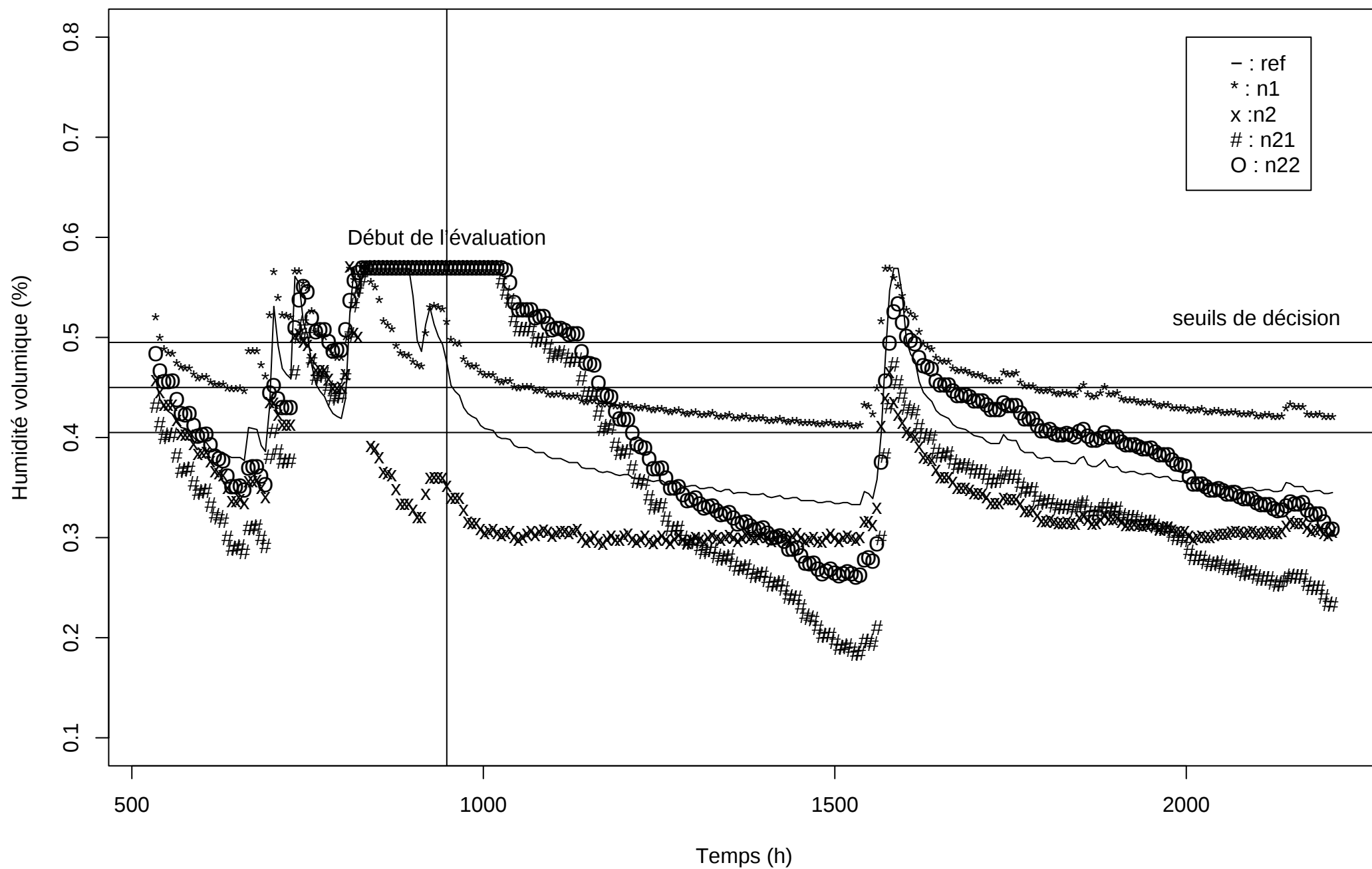
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2) de H0030



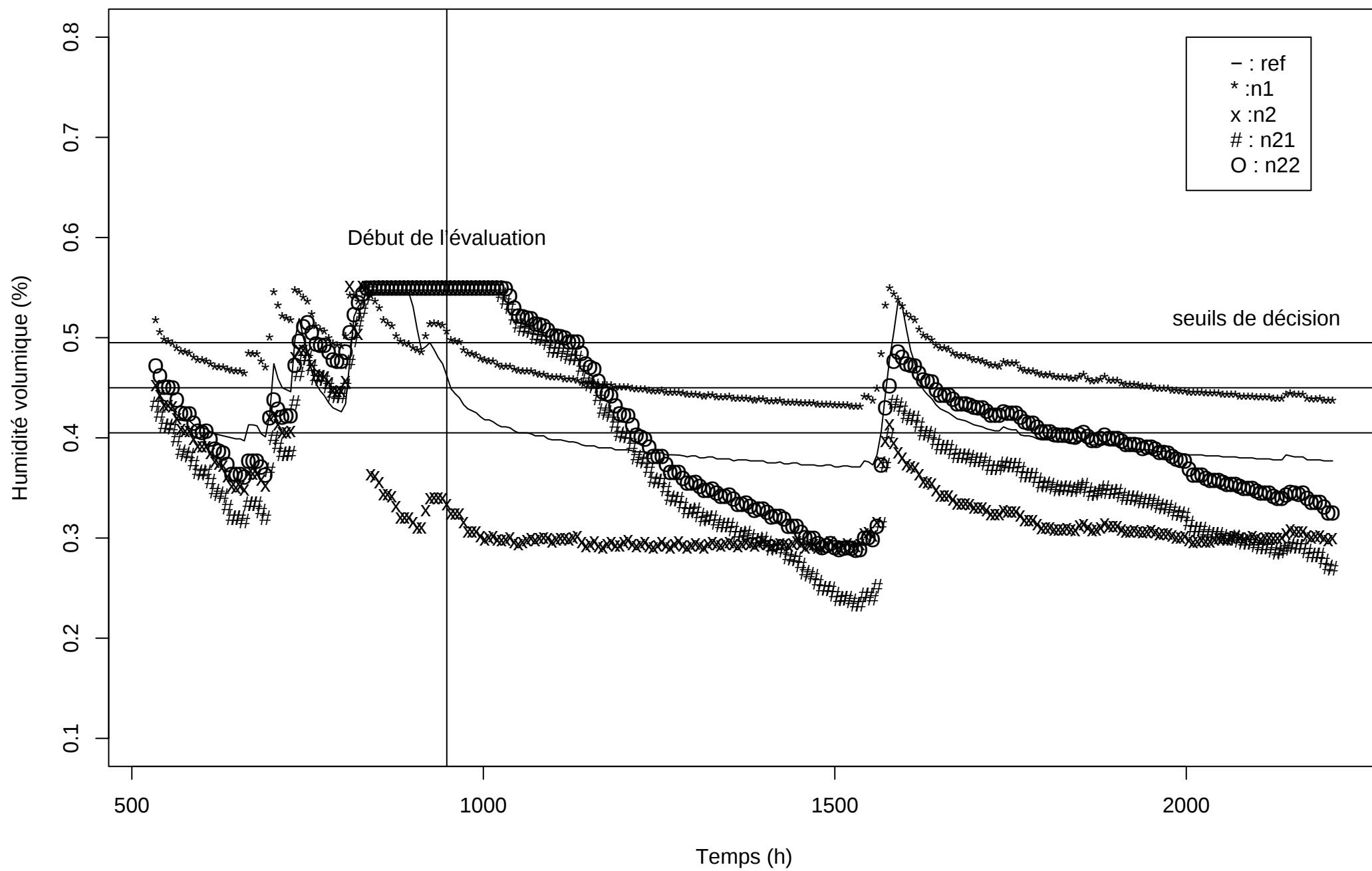
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, marav



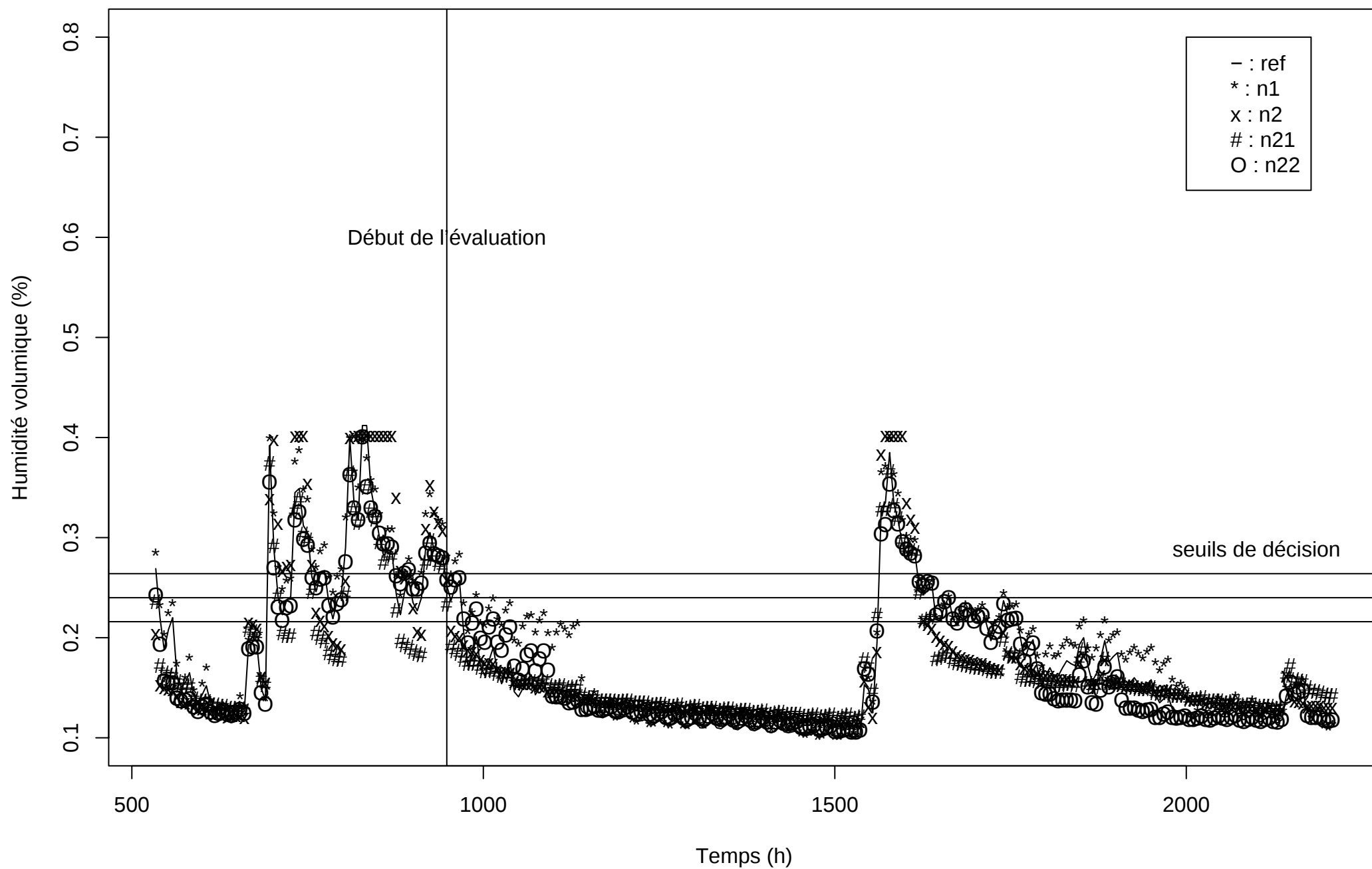
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, marav



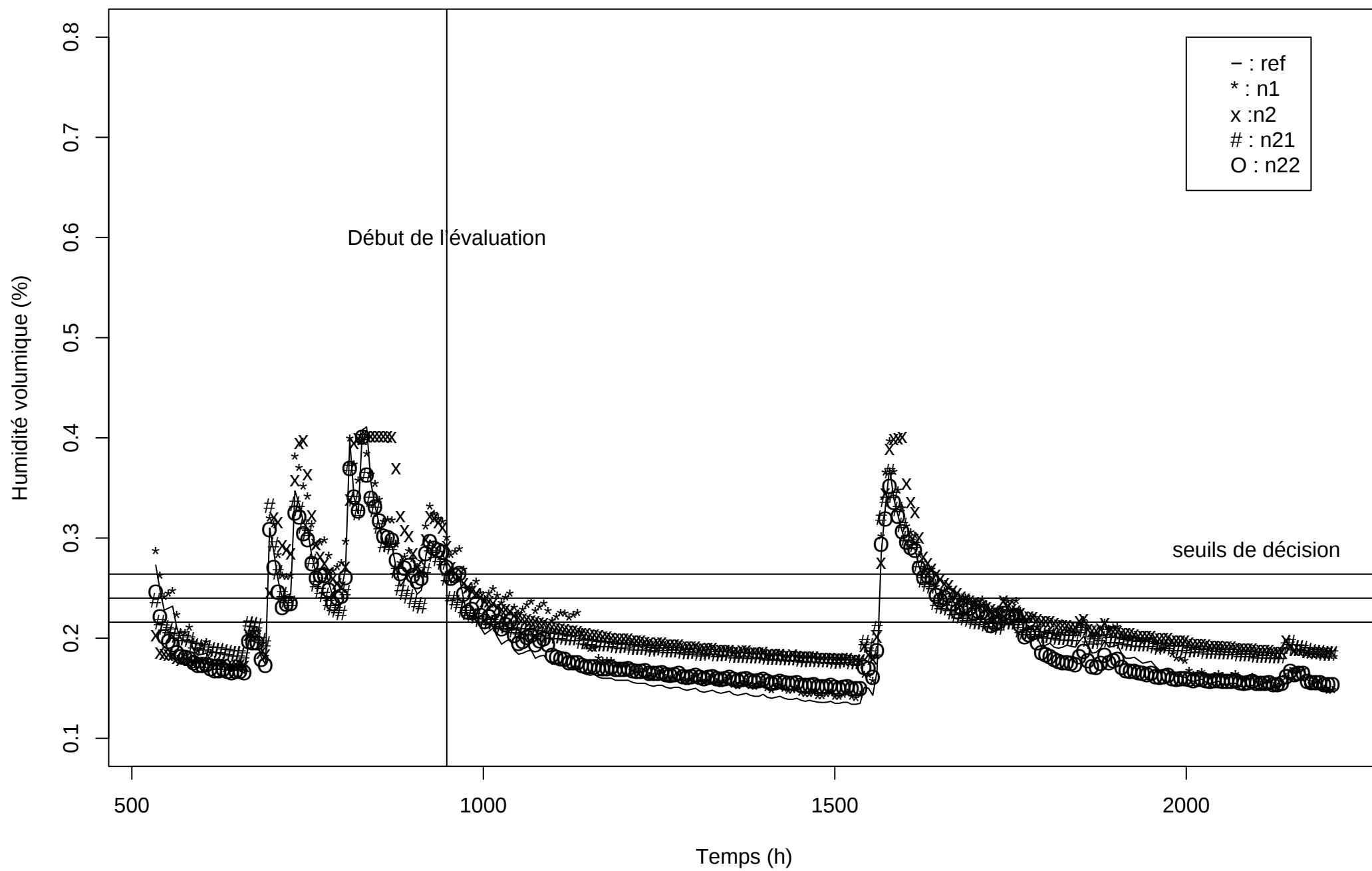
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, marav



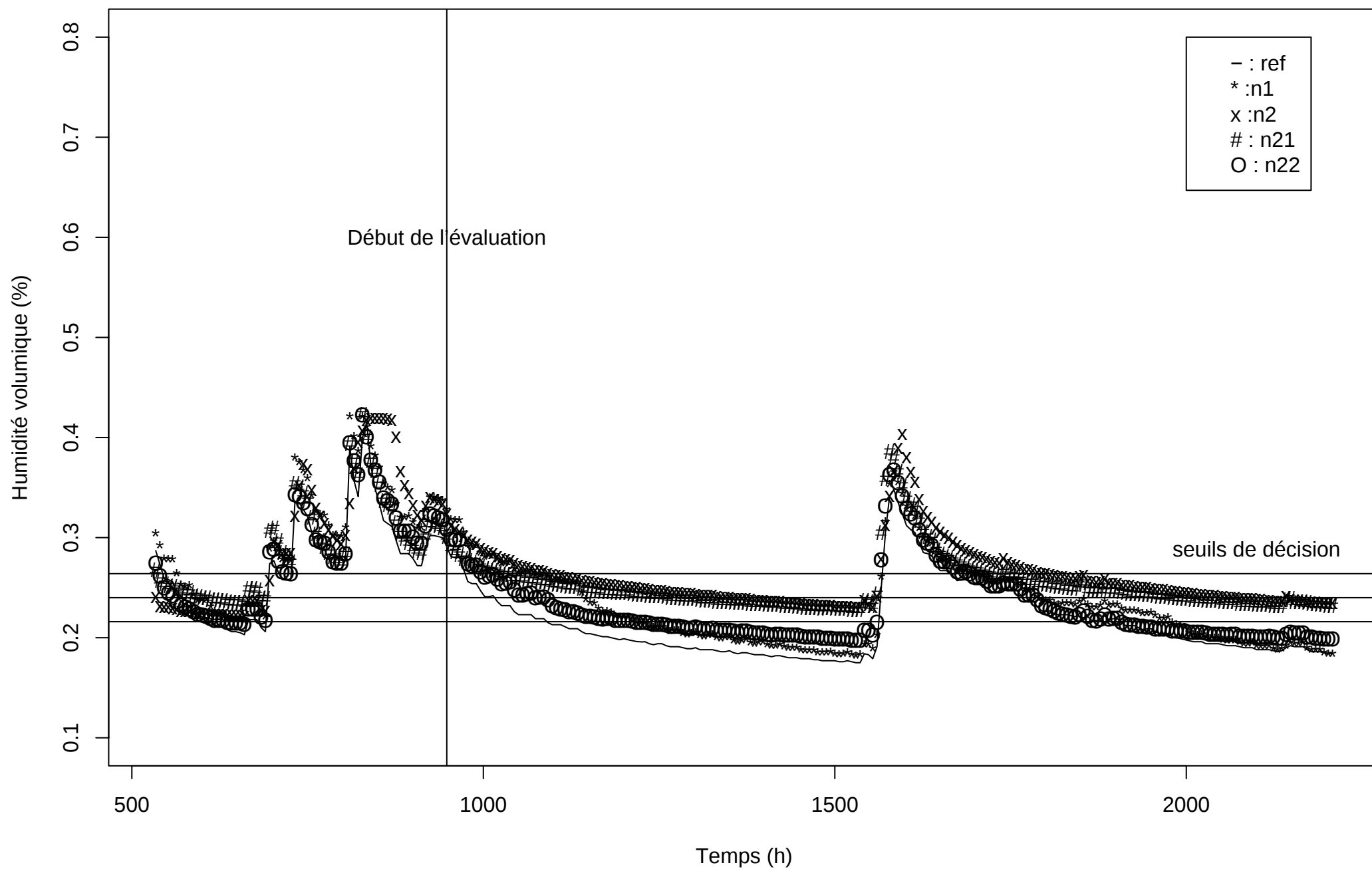
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, mexav



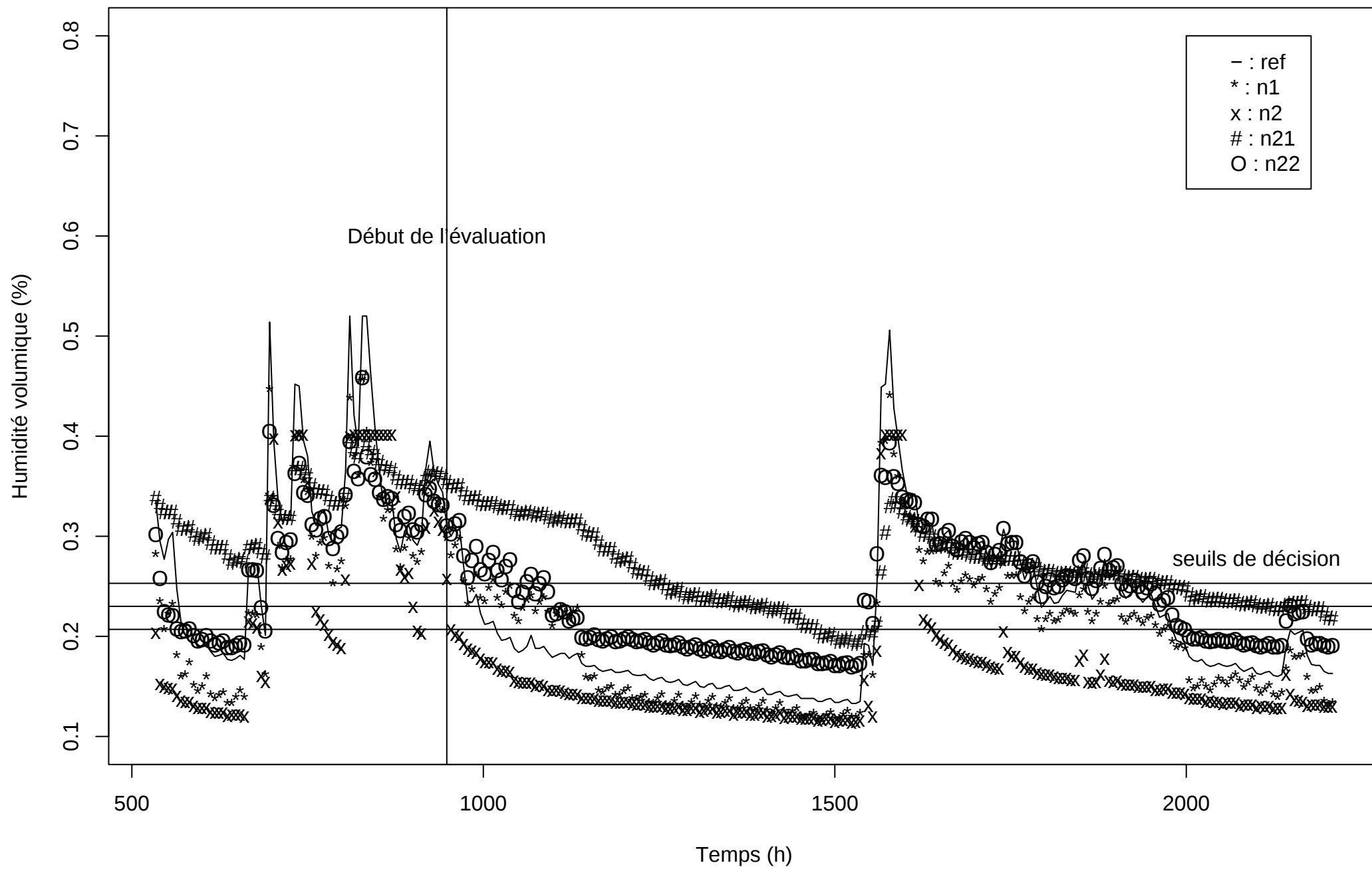
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, mexav



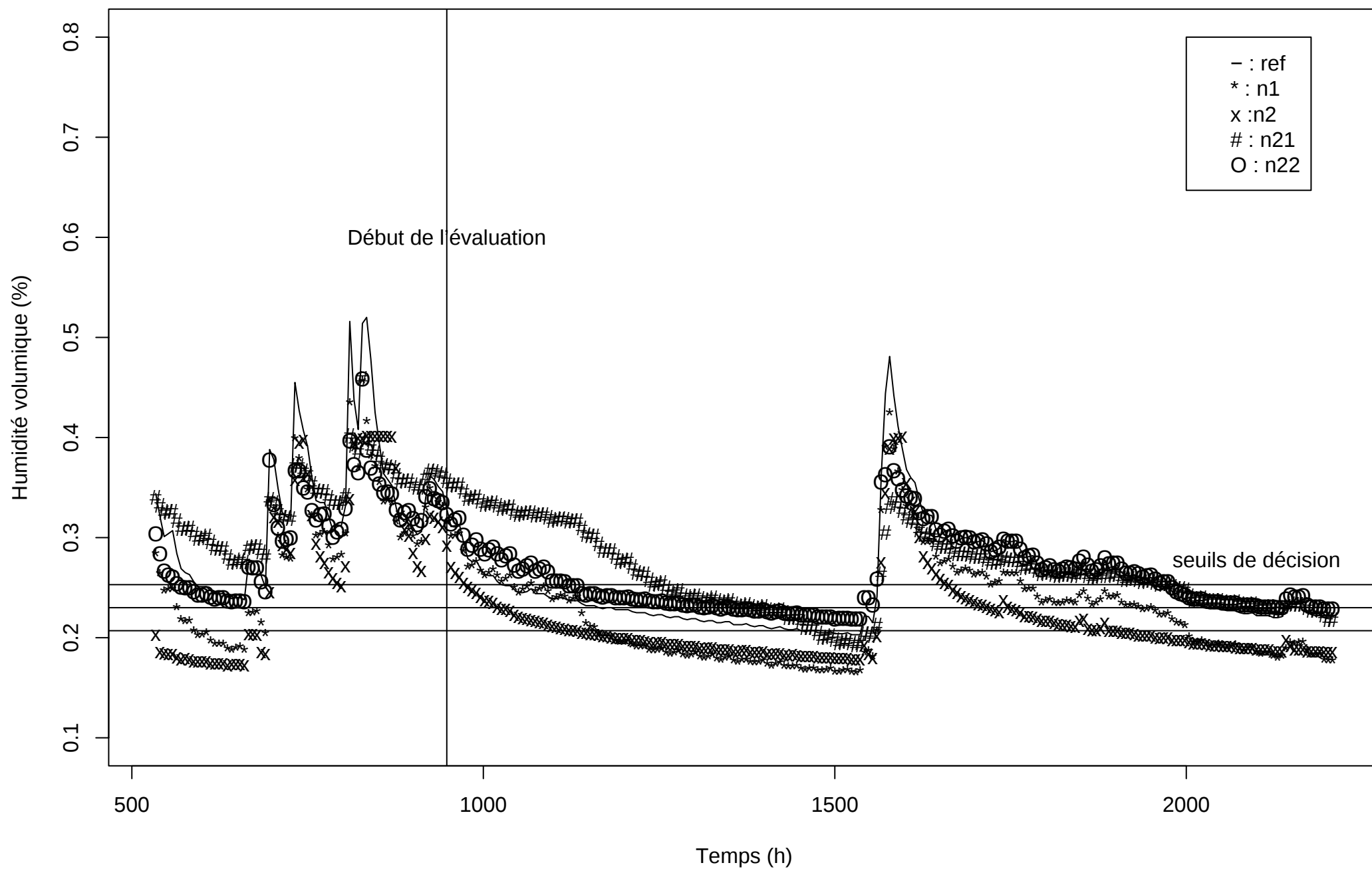
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, mexav



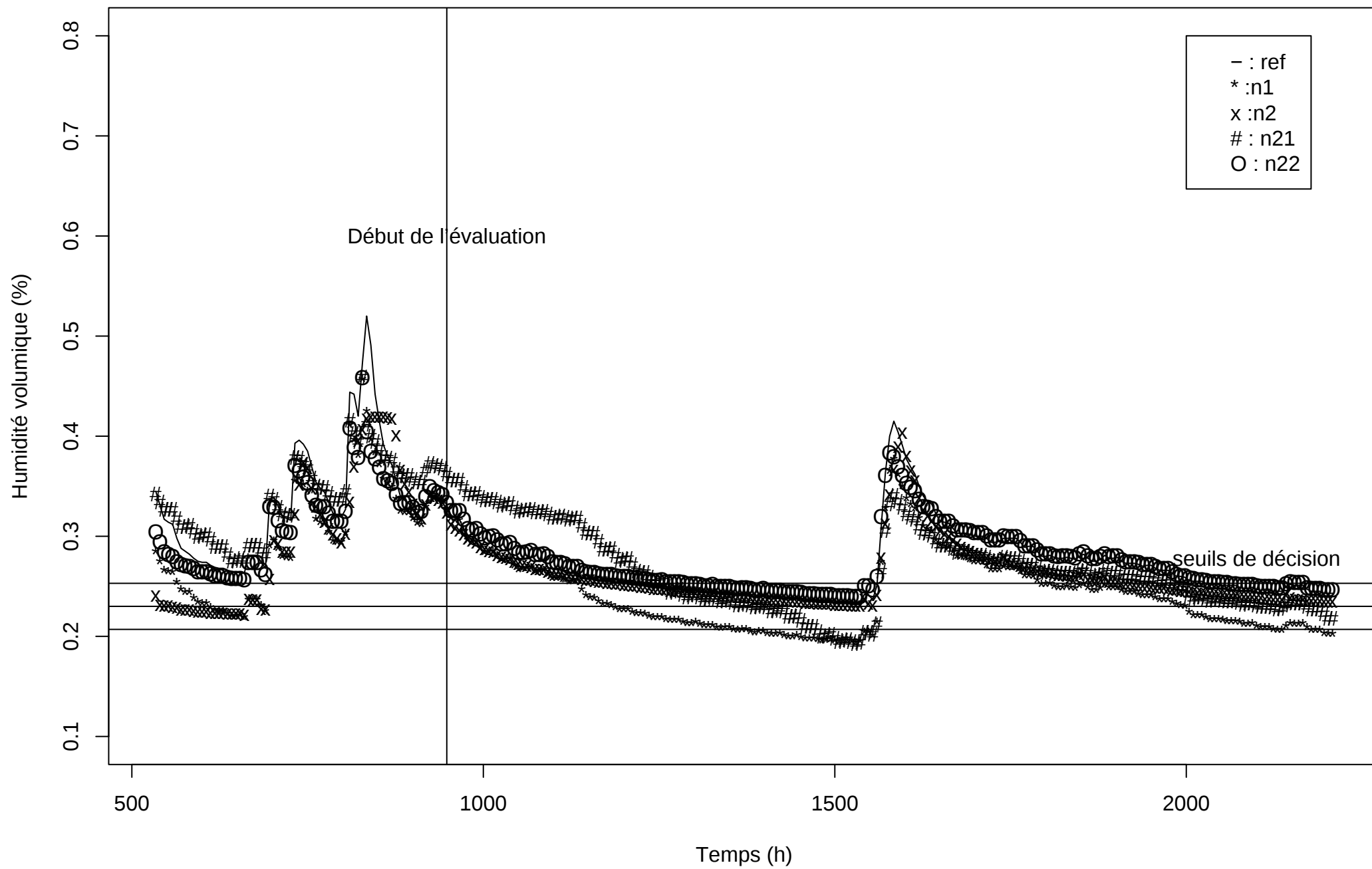
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, monav



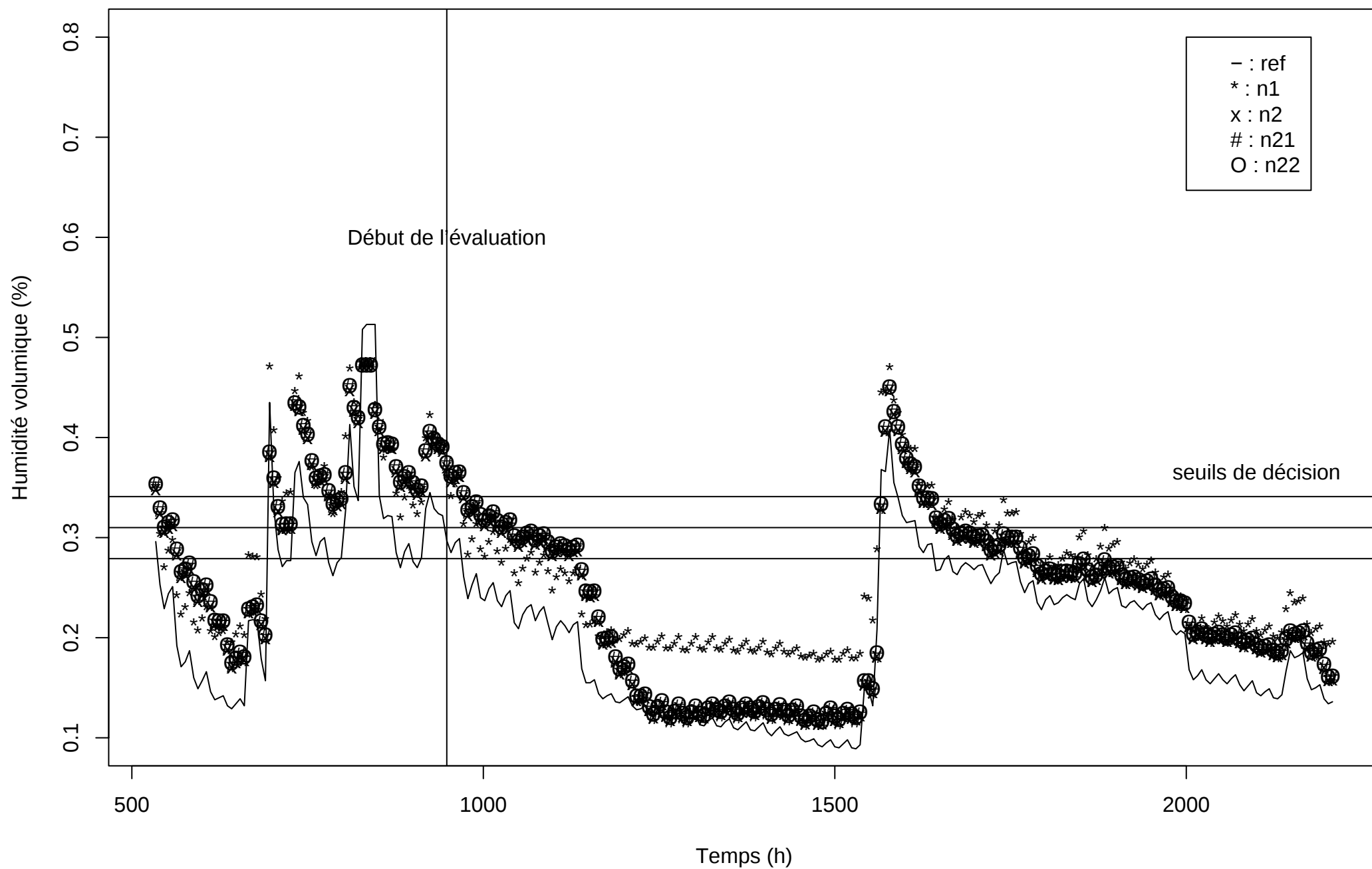
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, monav



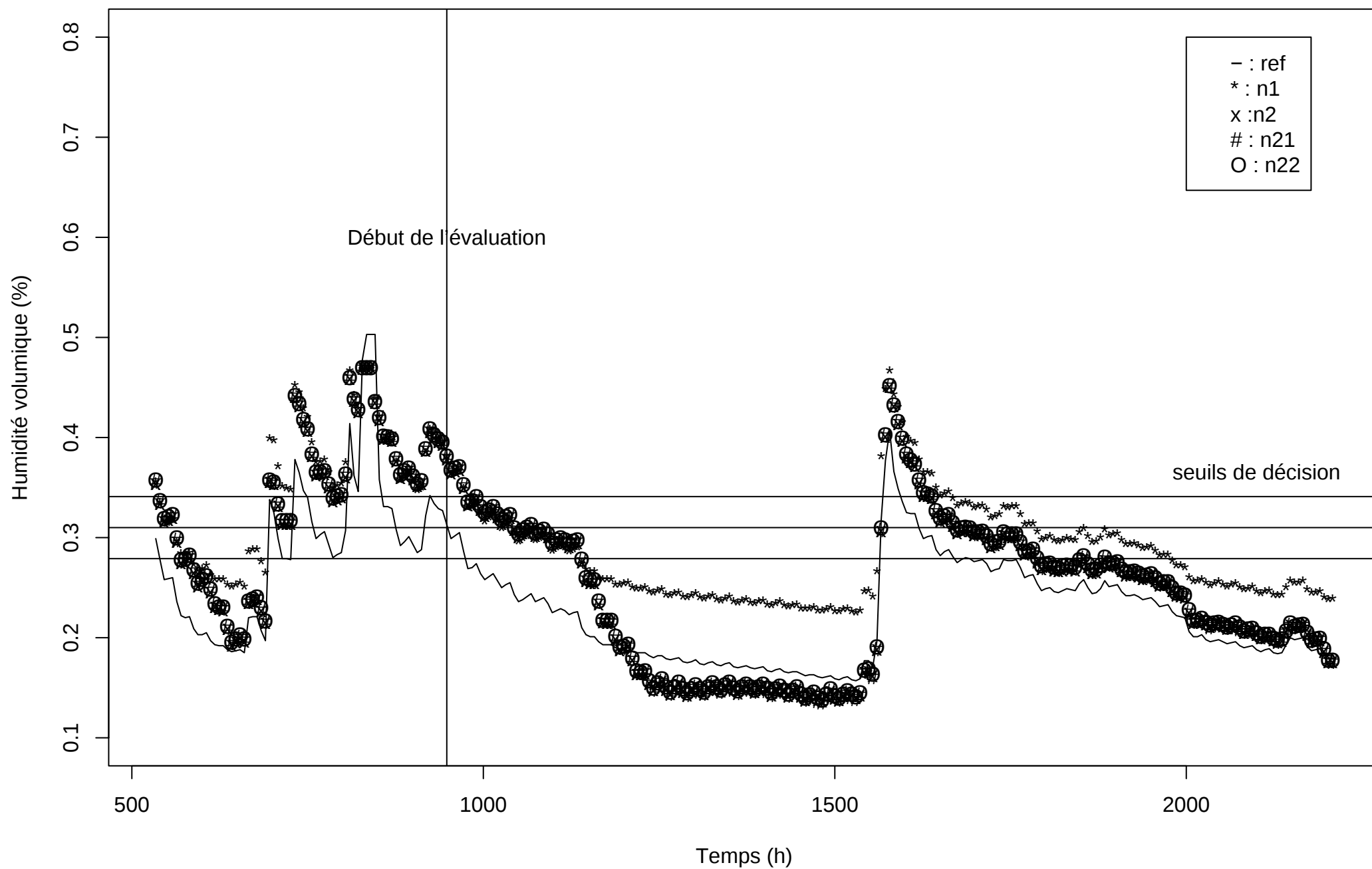
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, monav



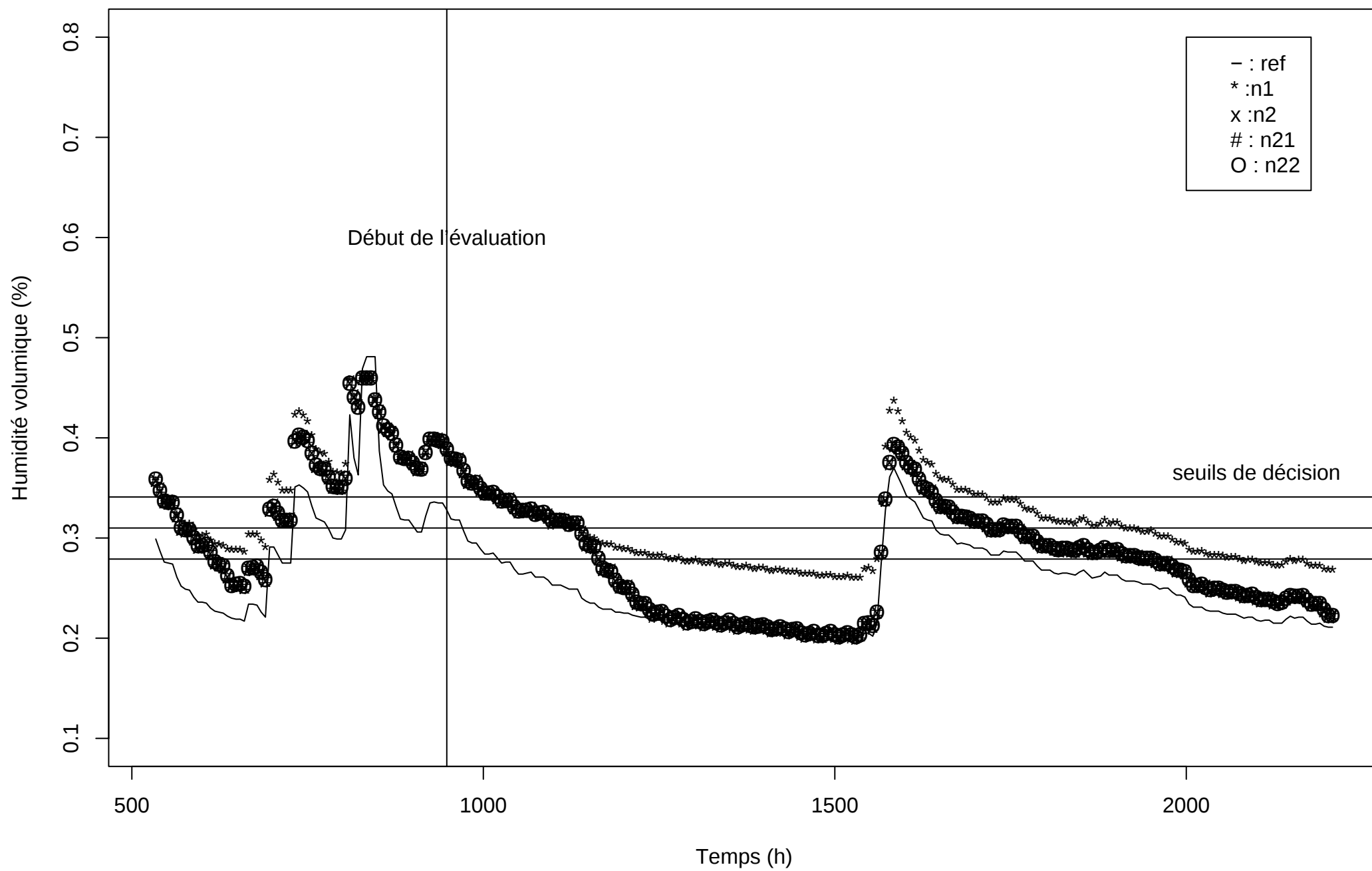
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, poiav



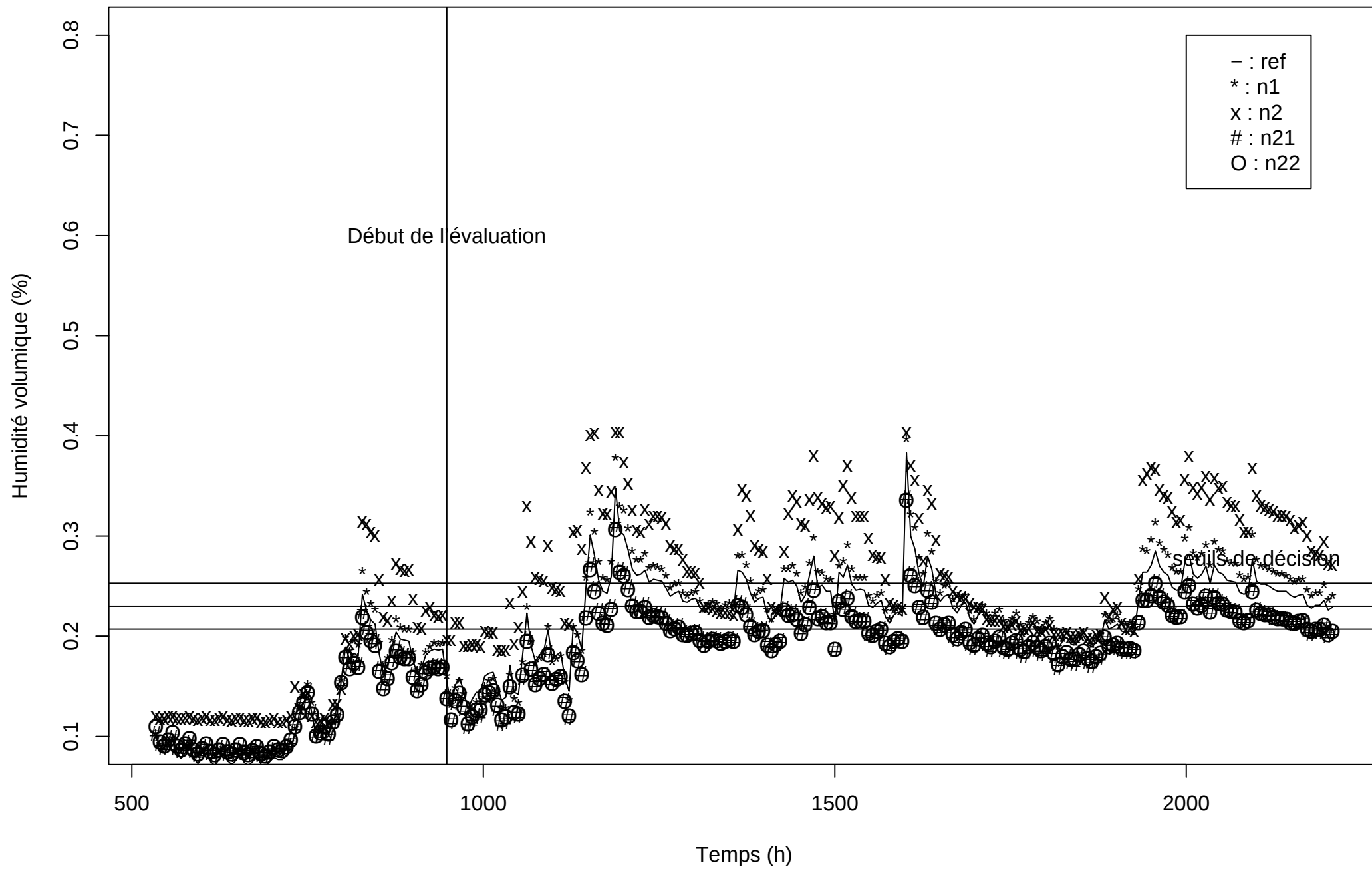
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, poiav



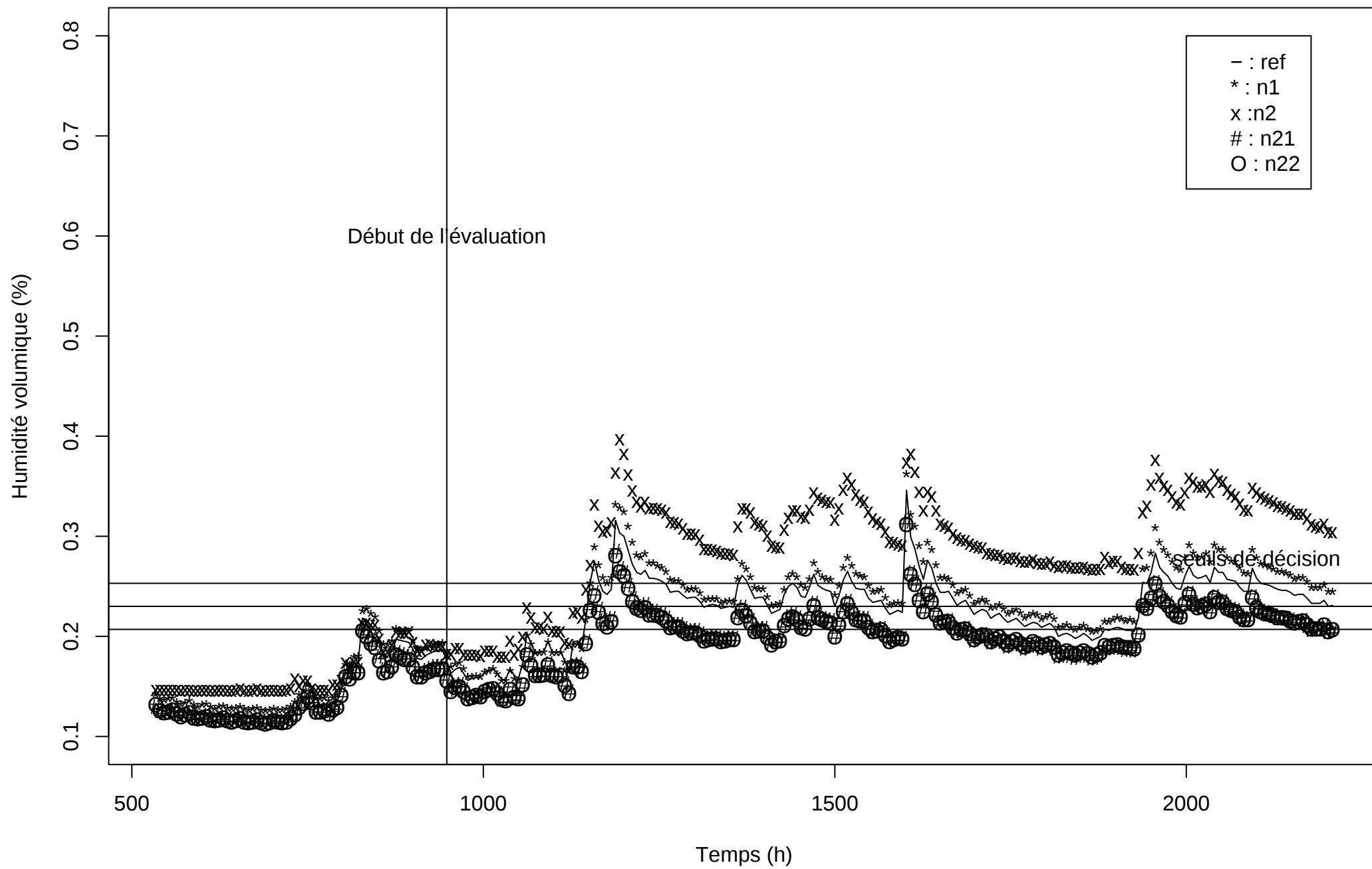
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, poiav



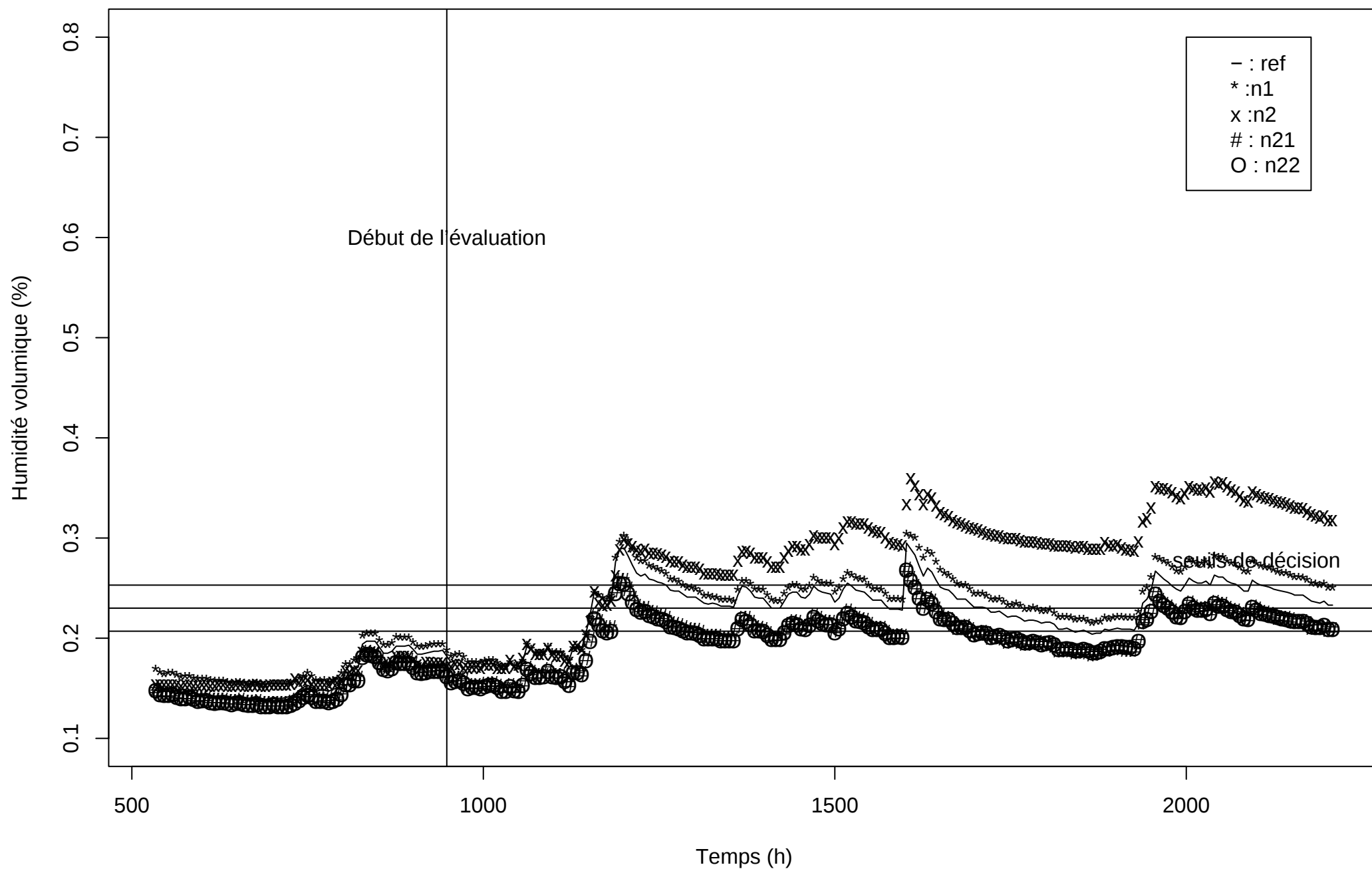
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, colmo



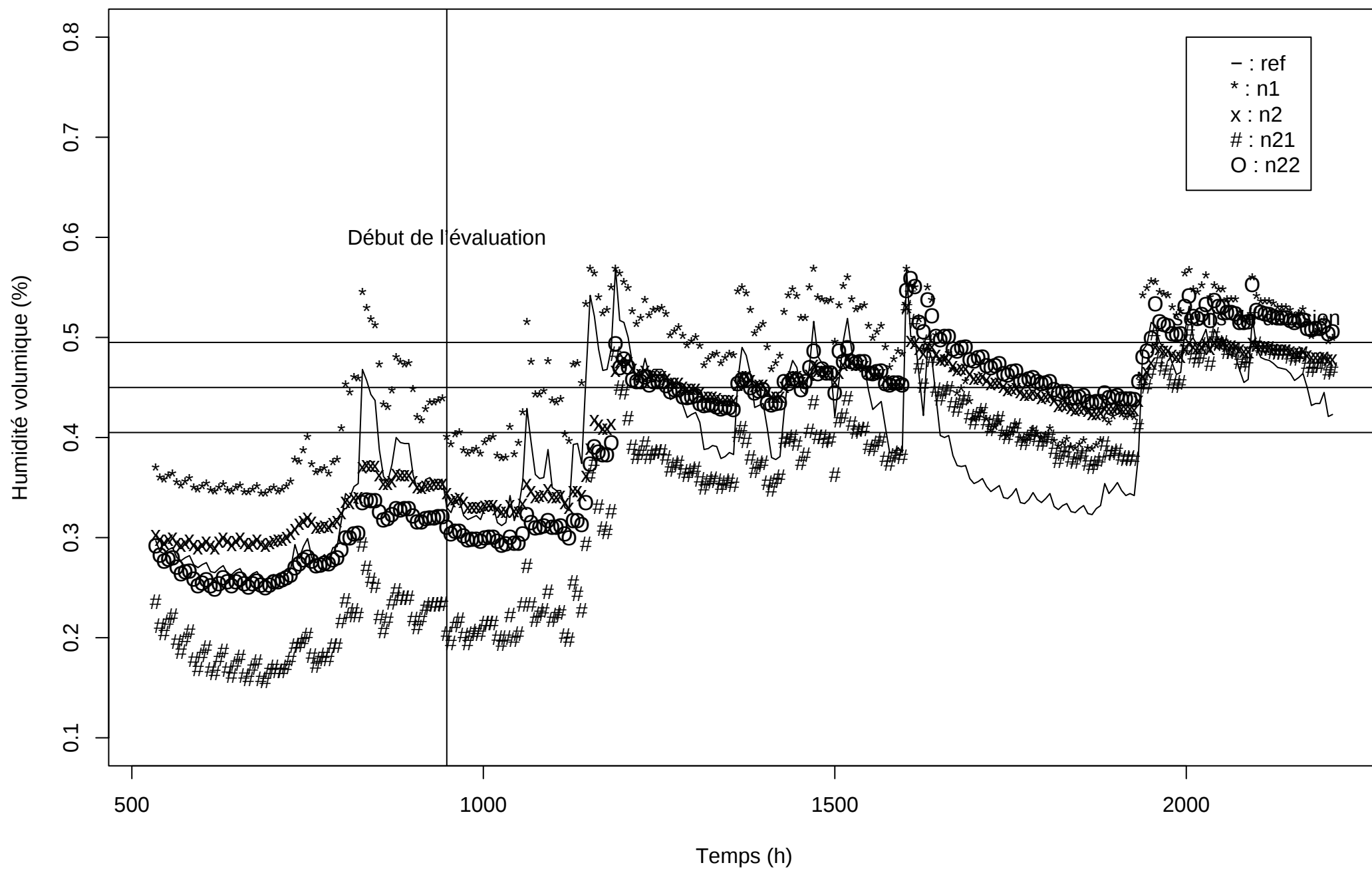
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, colmo



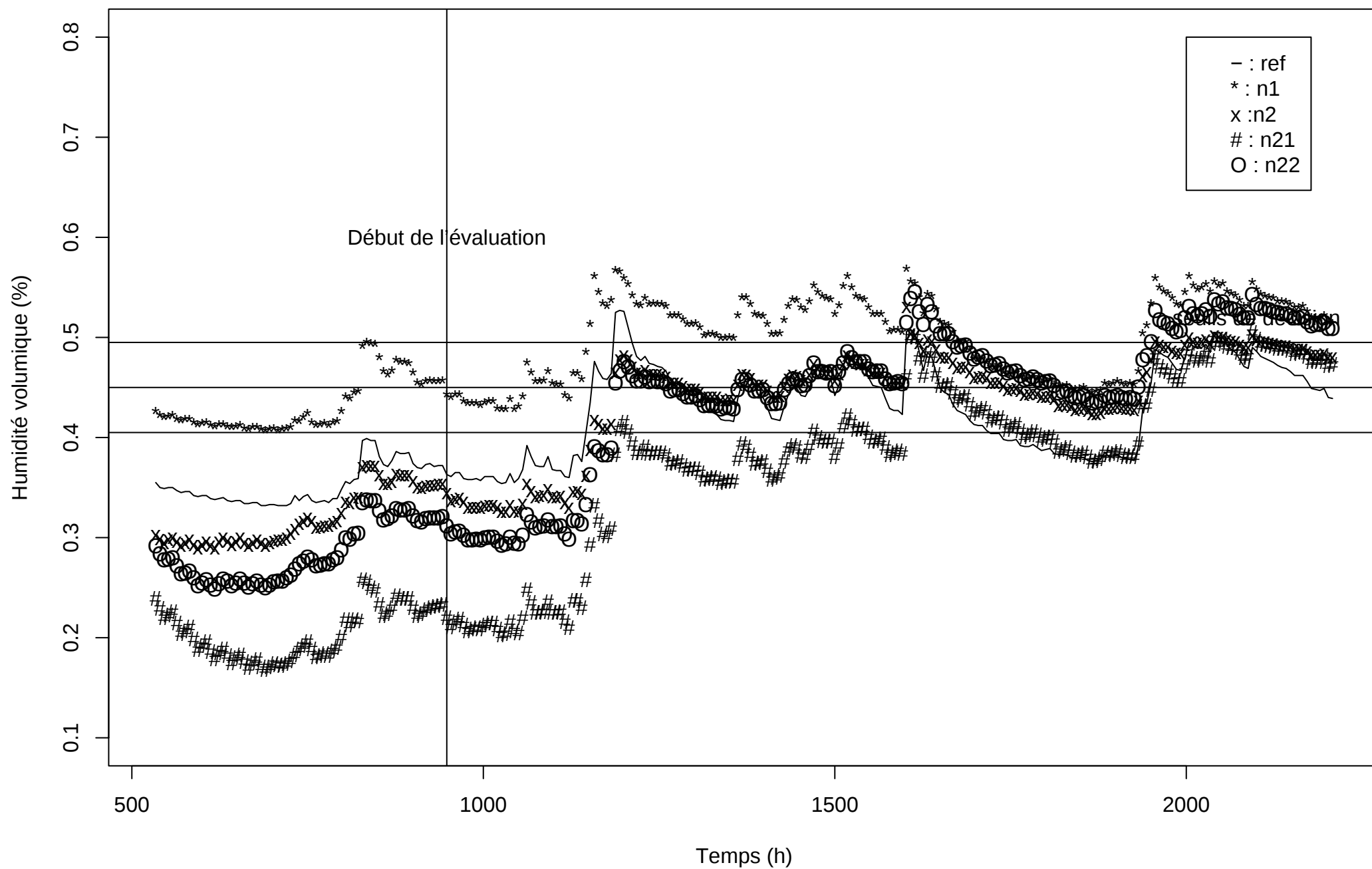
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, colmo



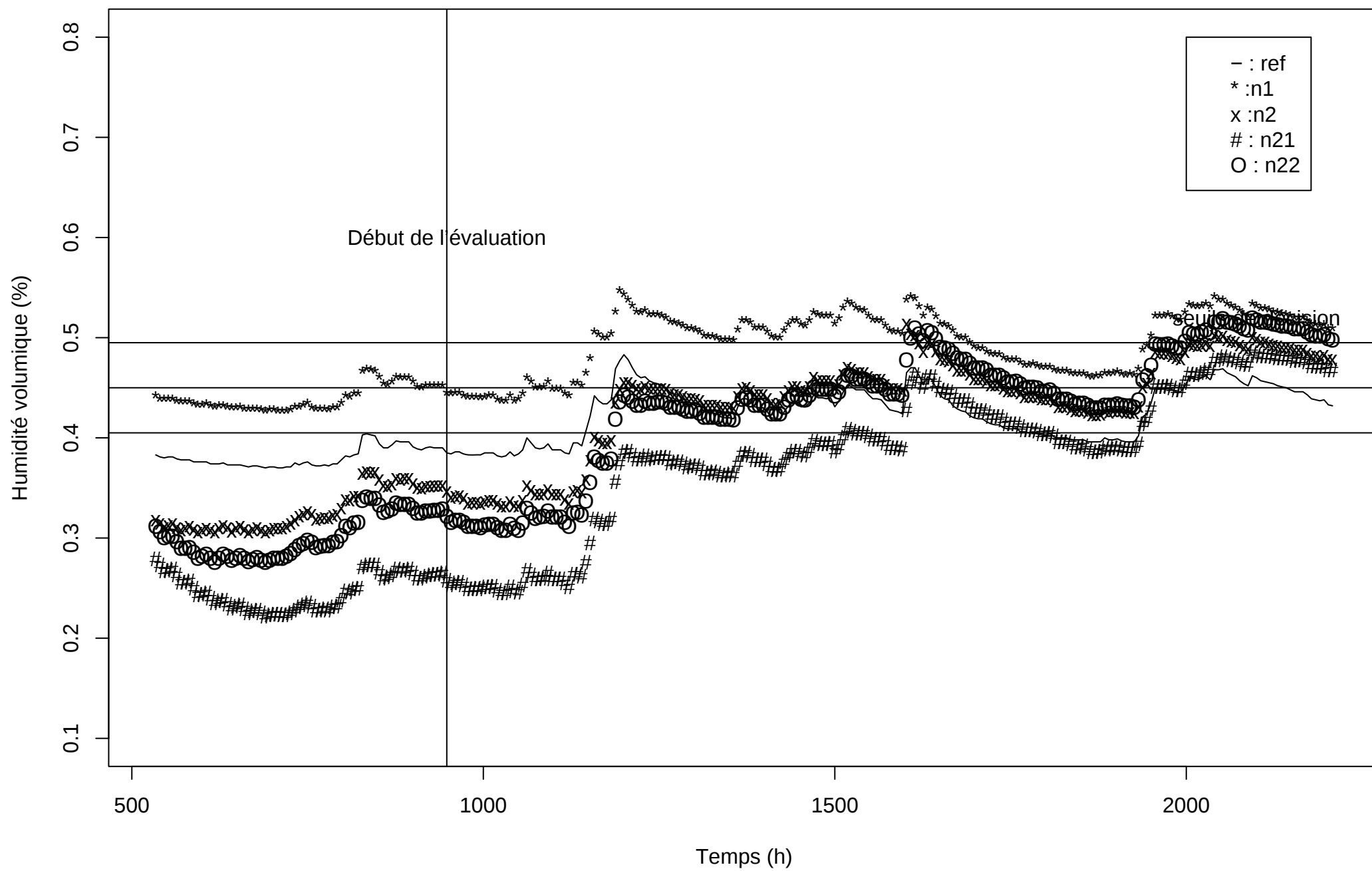
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, marmo



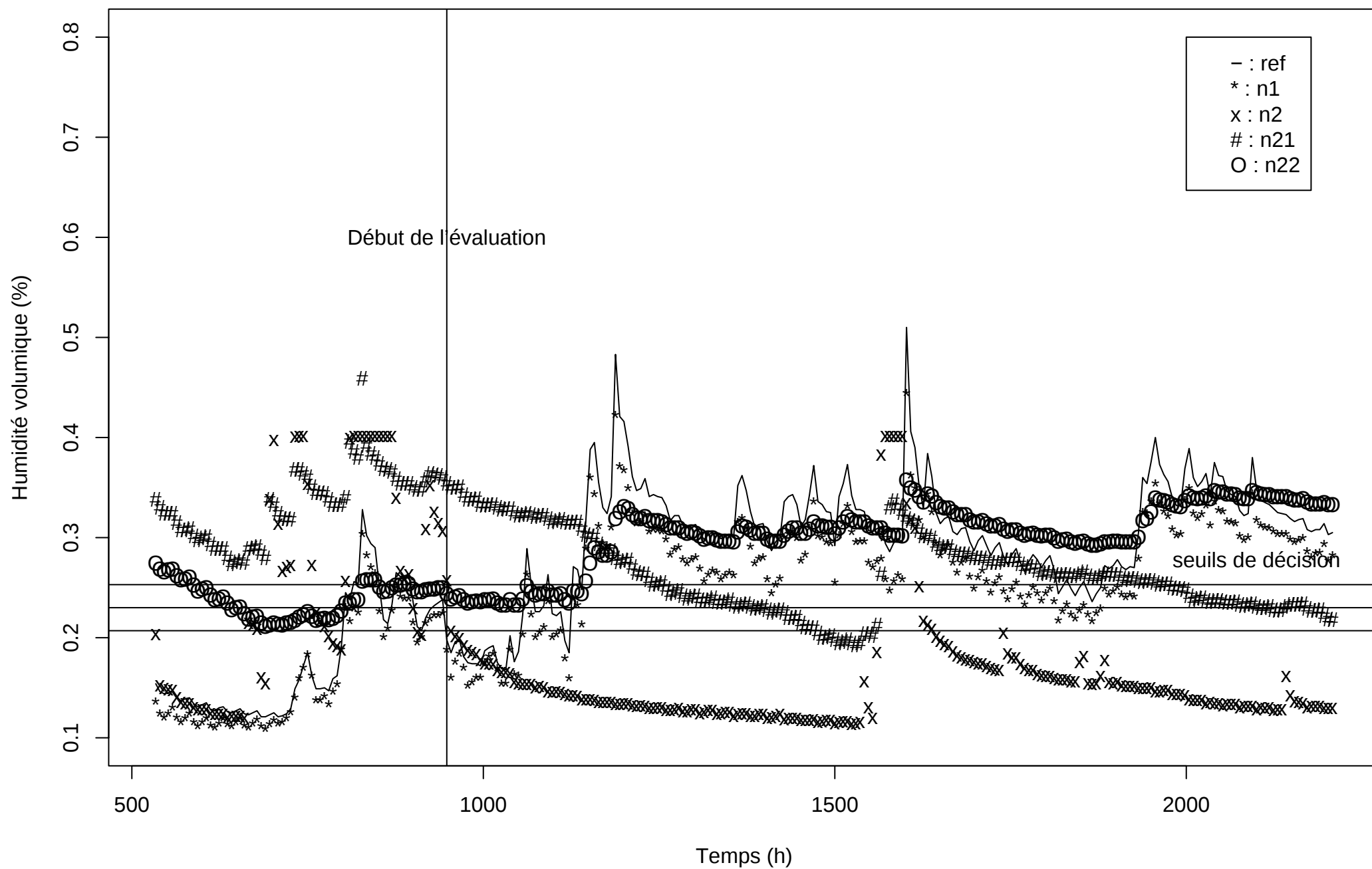
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, marmo



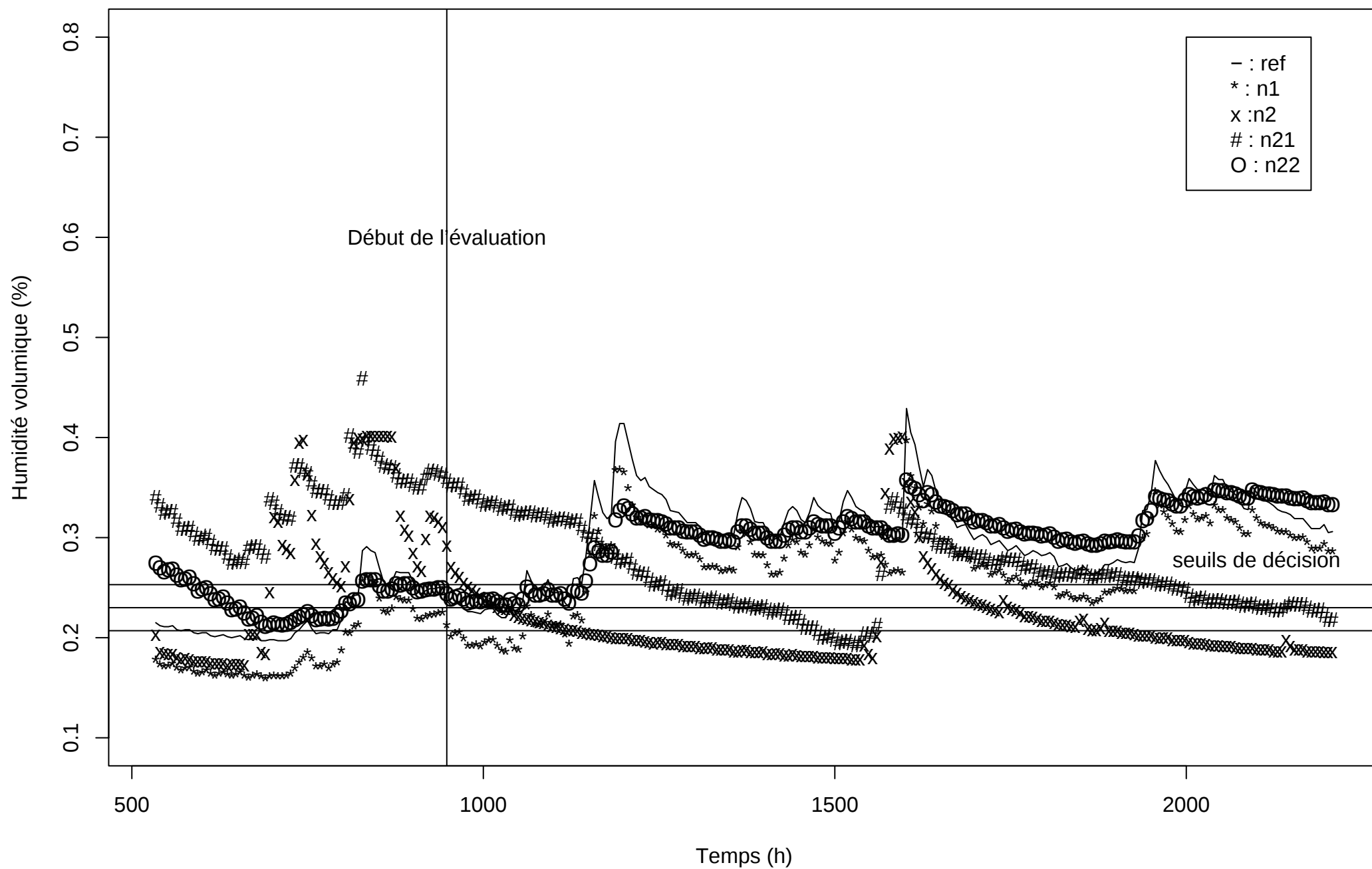
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, marmo



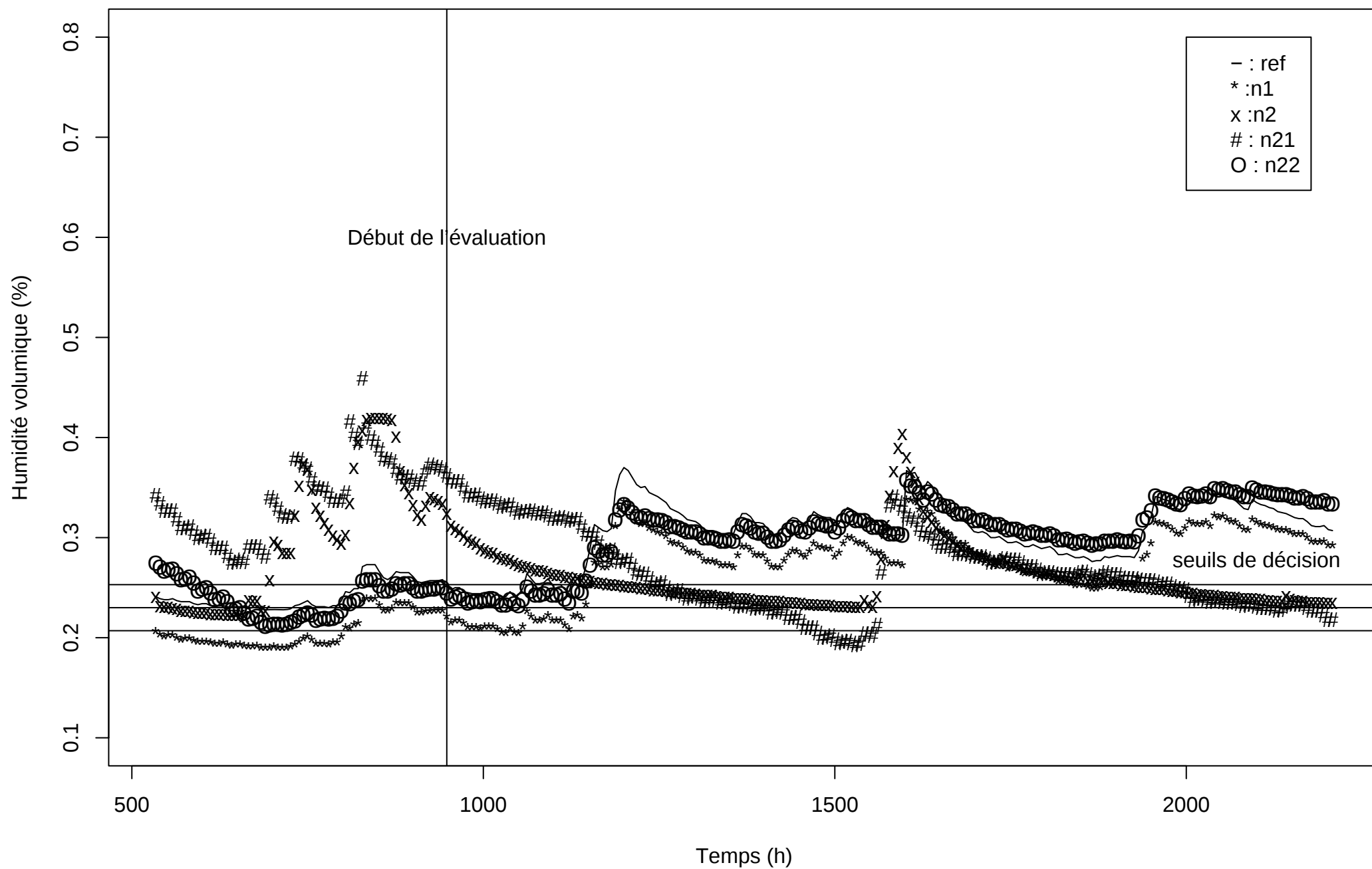
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, monmo



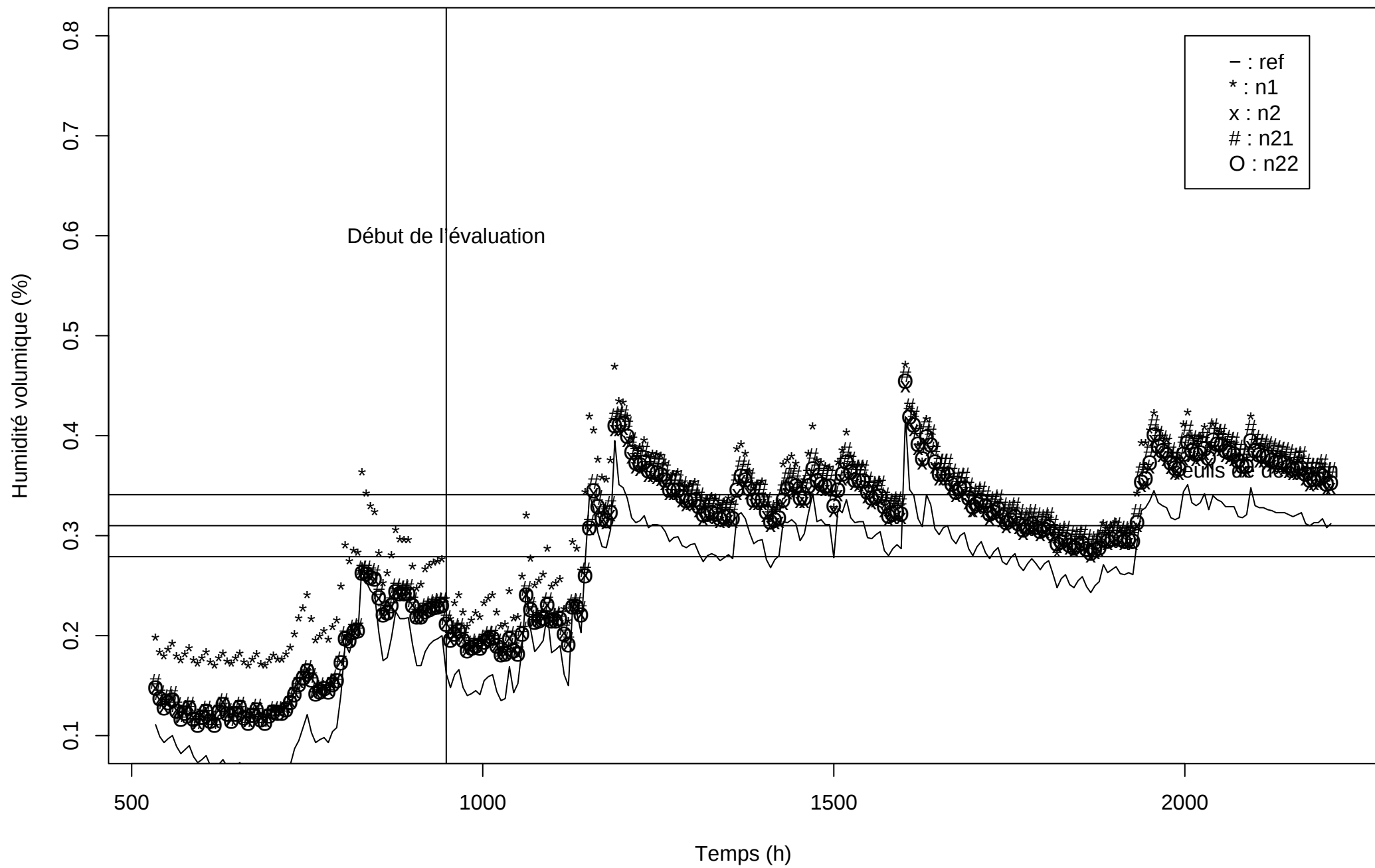
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, monmo



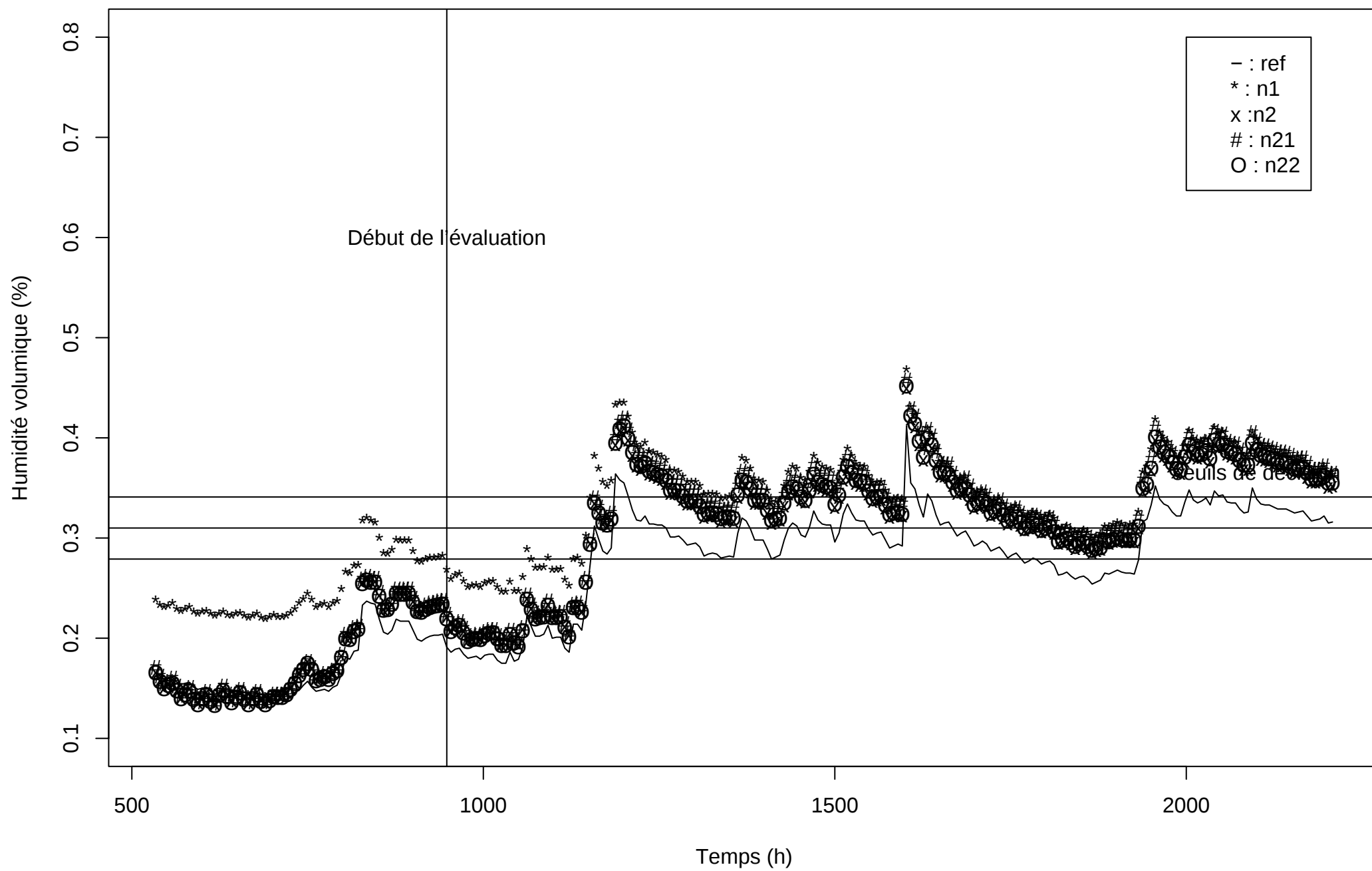
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, monmo



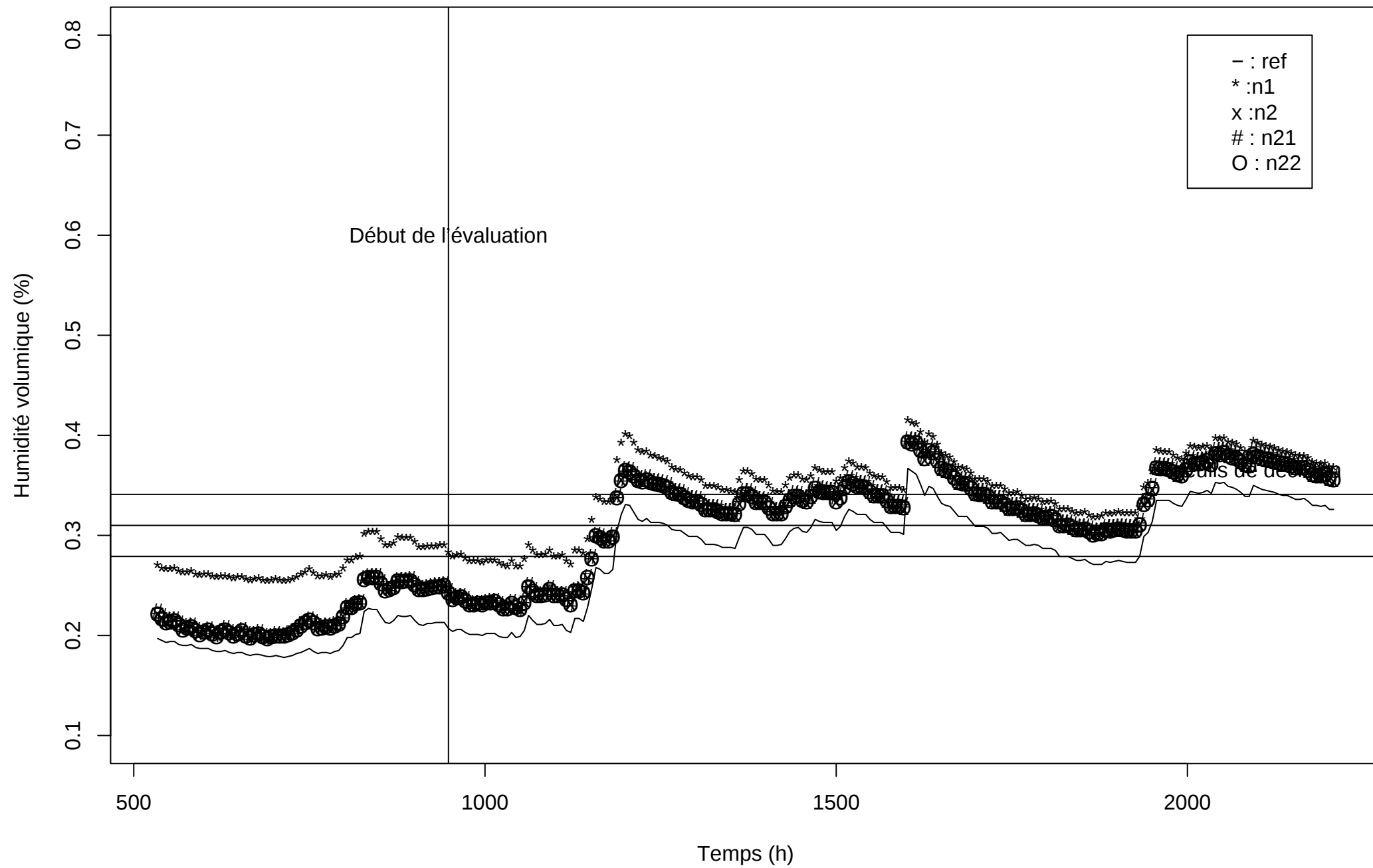
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0005, poimo



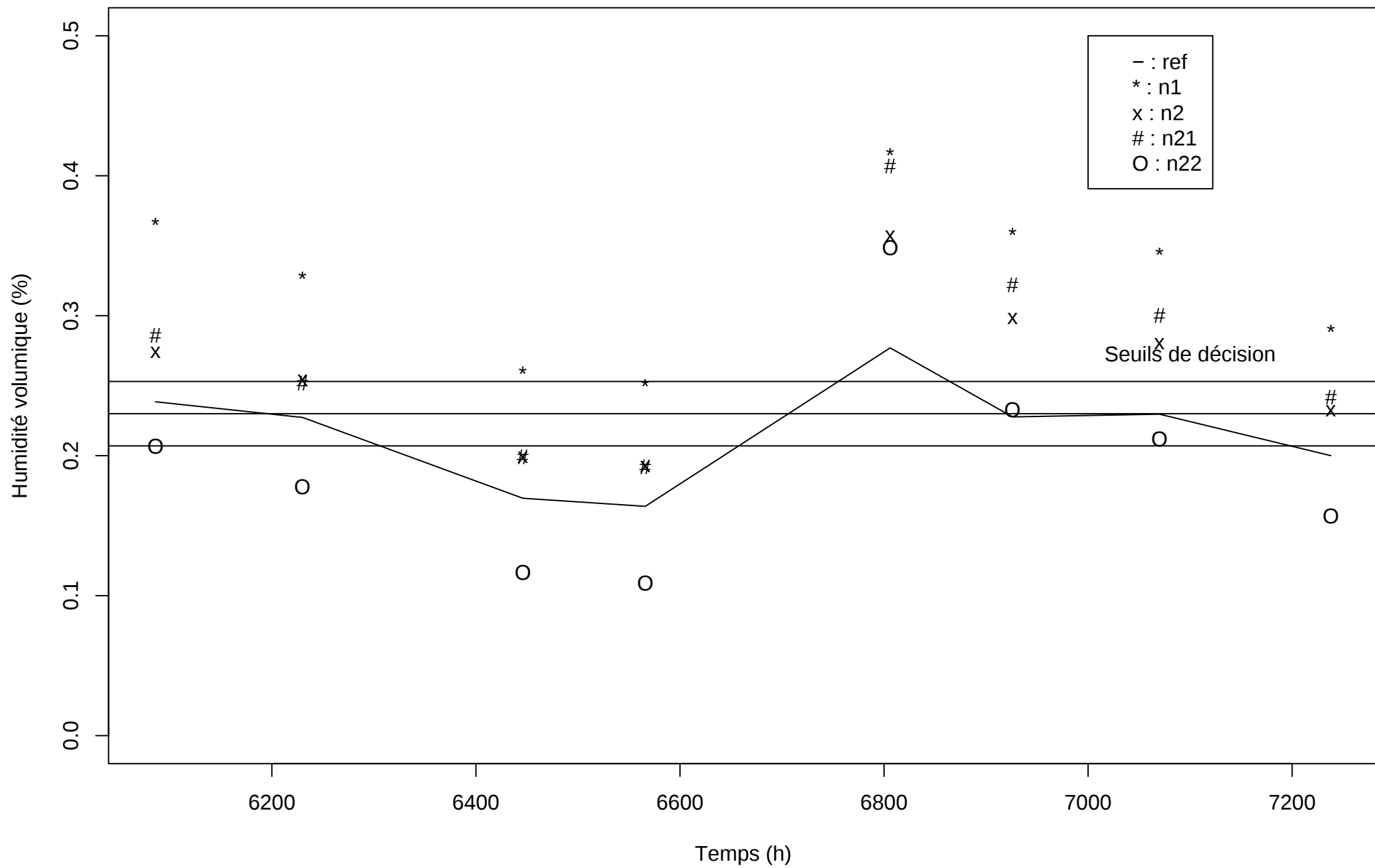
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0015, poimo



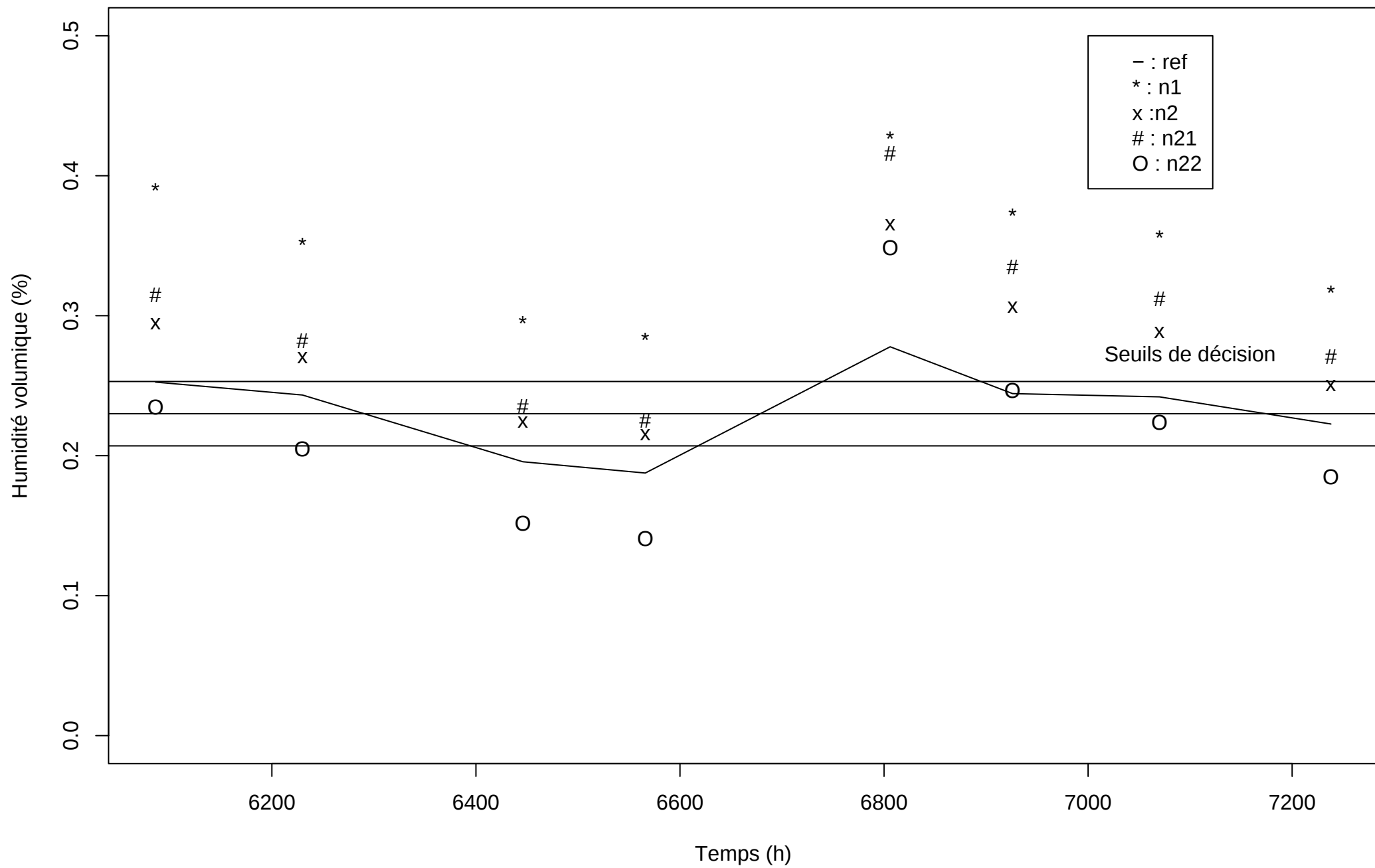
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, poimo



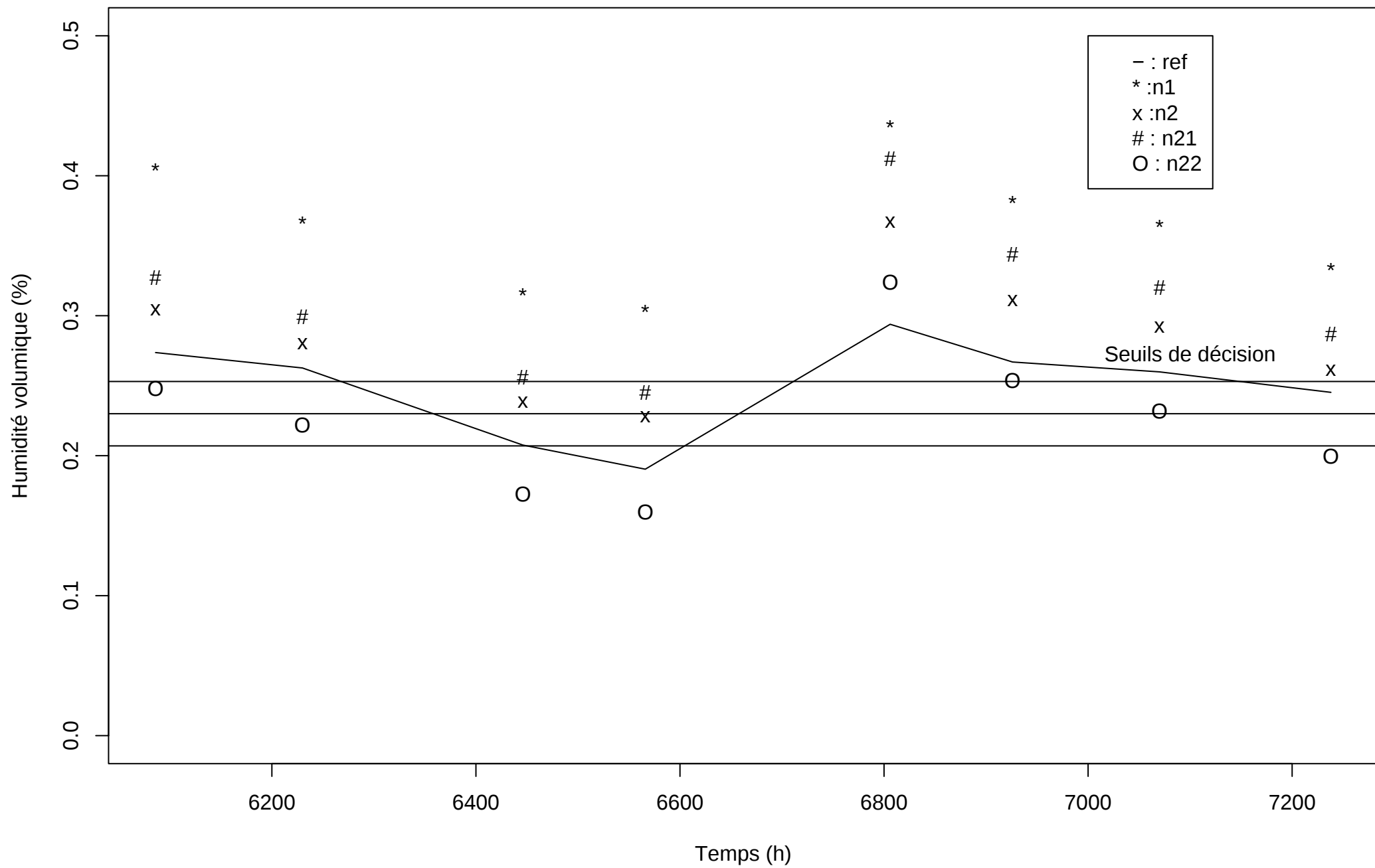
Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0010, New



Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0020, New



Distribution des valeurs de référence et simulés (n1, n2, n21) de H0030, New



Confidentiel : Non
Si oui, durée :

Auteur(s) : Brunet Nicolas

Année : 2007

Département :

(Ne rien inscrire)

**Evaluation d'un indicateur basé sur la prévision de la teneur en eau
Dans le cadre d'un outil d'aide à la décision pour le déclenchement du travail du sol.**

**Evaluation of indicator based on soil moisture
In the framework of decision help for the release of soil labour.**

Mots-clés : (6 maximum) Indicateur, Teneur en eau, Travail du sol, Evaluation, Modèle de transfert hydrique, Tassement de sol

Key-words : (6 maximum) Indicator, Soil moisture, Soil Tillage, Assessment , Hydrous model, Soil compaction,

Résumé : (10 lignes environ)

Ce rapport présente l'évaluation d'indicateurs utilisés dans le cadre d'un outil d'aide à la décision. Ces indicateurs (4), basés sur la teneur en eau des sols, sont construits à partir d'un modèle de transfert d'eau et de chaleur. Cet outil doit permettre d'aider les agriculteurs à réaliser les opérations culturales de travail du sol afin d'éviter le tassement de sol (grâce à la prévision des périodes sèches du sol). Les différentes méthodes d'évaluations utilisées classiquement dans le cadre des outils d'aide à la décision sont passées en revue. Ces méthodes sont analysées afin de les associer à des types de risques propres aux outils d'aide à la décision. Une fois le choix de la méthode fait, l'évaluation des indicateurs est effectuée. Cette évaluation est effectuée sur deux jeux de données de référence : l'un basé sur des simulations, l'autre sur des relevés de terrain. L'analyse des résultats montre que certains indicateurs sont mieux adaptés à certains types de sol et qu'il est possible d'améliorer le résultat des quatre indicateurs.

Summary : (10 lignes environ)

This document deals with the assessment of indicators used like decision help tool. The indicators (4 different) are achieved using a water and heat transfer model, on soil moisture simulation. This tool must be used for decision help of soil tillage management to avoid soil compaction (thanks to prevision of dry periods for the soil). We reviewed classical assessment methods used in the framework of help tools evaluation. We analysed these methods to associate them with help tools risks analyses. Thus, the 4 indicators are assessed with the most adapted method. This evaluation is made with two different reference data file. One is based on simulation and the second comes from experimental statement. The analyse shows that indicators are most useful when they are associated with specific conditions of soil and the 4 indicators can be improved.

Nombre total de volumes : 2

Nombre de pages du document principal : 55

Demandeur : Inra d'Avignon UMR CSE (climat, sol et environnement)