



Étude des performances et validation

de l'énergie transverse manquante

avec le détecteur CMS

**Florent Lacroix** U. of Illinois at Chicago / Fermilab

## Plan

- Le détecteur CMS au LHC
- Reconstruction de la MET dans CMS
  - CaloMET, tcMET et pfMET
- Étude des performances et validation de la MET
  - dans les données à 900 GeV / 2.16 TeV
  - dans les données à 7 TeV
- > Conclusion

### Large Hadron Collider



## LHC



04/11

Date

# Le détecteur CMS (Compact Muon Solenoid)



## Le détecteur CMS

### • Environ $4\pi$ , hermétique, redondante, « poupée russe »



	ATLAS	CMS	CDF II	D0 II
Magnetic field	2 T solenoid + toroid (0.5 T barrel 1 T endcap)	3.8 T solenoid + return yoke	1.4T	2T + toroid (1.8T)
Tracker	Si pixels, strips + TRT σ/pT ≈ 5x10-4pT + 0.01	Si pixels, strips σ/pT ≈ 1.5x10-4pT + 0.005	Si strips and drift chamber	Si strips + scintillating fiber
EM calorimeter	Pb+LAr σ/E ≈ 10%/√E + 0.007	PbWO4 crystals σ/E ≈ 3%/√E + 0.003	Lead-scintillator σ/E ≈ 13.5%/√E + 0.015 GeV in barrel	U+LAr
Hadronic calorimeter	Fe+scint. / Cu+LAr (10 $\lambda$ ) $\sigma/E \approx 50\%/\sqrt{E} + 0.03$ GeV	Brass+scintillator (7 $\lambda$ + catcher) $\sigma/E \approx 100\%/\sqrt{E} +$ 0.05 GeV	Iron-scintillator σ/E ≈ 50%/√E + 0.03 GeV in barrel	U+Lar (Cu or stainless in outer hadronic)
Muon	σ/pT ≈ 2% @ 50GeV to 10% @ 1TeV (ID+MS)	σ/pT ≈ 1% @ 50GeV to 10% @ 1TeV (DT/CSC+Tracker)	Rapidities to 1.4	Rapidities to 2.0
				Much Schillstors Much Chantlers Shelding Cabrimeter Torold

# L'énergie transverse manquante (MET)

- Une variable importante pour beaucoup d'analyses:
  - Détection indirecte des particules invisibles
  - Recherche de nouvelle physique
  - Permet de réduire le fond QCD et les autres bruits de fond à basse MET
- Reflète les performance de CMS, compréhension des bruits de fond, échelle d'énergie des jets, etc.
- Un vrai challenge: il est très facile d'obtenir de la fausse MET: cellules mortes, bruit instrumental, non linéarité, etc.
- Événement à basse MET:
  - Physique du modèle standard
  - défis: maitrise du fond QCD
     résolution à basse énergie
- Événement à grande MET:
  - Nouvelles physiques
  - défi: **queues** des distributions! 10/01/2011





# Reconstruction de la MET dans CMS

### Calorimeter MET

 Calculée à partir des dépôts dans le ECAL et le HCAL (caloTowers)



### Track-corrected MET

 Calculée en partant de caloMET

 Soustrait la réponse calorimétrique moyenne attendue des particules chargées et la remplace par la mesure des traces



### Particle flow MET

 Détermine une liste unique des particules présentes dans chaque événement (hadrons neutres et chargés, photons, leptons)



### Calorimeter MET

 CaloMET est calculée à partir des dépôts d'énergie dans les tours calorimétriques projectives:

$$\vec{\mathbb{E}_T} = -\sum_n (E_n \sin \theta_n \cos \phi_n \hat{\mathbf{i}} + E_n \sin \theta_n \sin \phi_n \hat{\mathbf{j}}) = \mathbb{E}_x \hat{\mathbf{i}} + \mathbb{E}_y \hat{\mathbf{j}}$$

- Des corrections sont appliquées a posteriori:
  - Échelle d'énergie des jets
  - Corrections des muons
  - Jets non corrigée (sous le seuil en pt) et énergie non pris en compte par l'algorithme de formation des jets (type II)
  - Autres corrections: échelle d'énergie des taus hadroniques, etc

# Correction d'échelle d'énergie des jets

- Les jets ont besoin d'être corrigés de l'échelle d'énergie en raison de:
  - la non-compensation du calorimètre
  - les fluctuations du rapport e/h en fonction de eta
  - les non-linéarités
- On propage les corrections d'échelle d'énergie des jets à la MET pour tous les jets de pt > 20 GeV et EMF<0.9</li>
- En dessous de 20 GeV les corrections sont trop imprécises

$$\mathbf{E}_{\mathbf{T}}^{\mathbf{miss}} = -\sum_{i} \mathbf{E}_{\mathbf{T},i}^{\mathbf{tower}} - \sum_{j} \left( \mathbf{p}_{\mathbf{T},j}^{\mathbf{corr},jet} - \mathbf{p}_{\mathbf{T},j}^{\mathbf{raw},jet} \right)$$



### Correction des muons

 Les muons déposent ~2 GeV dans le calorimètre

 On remplace l'énergie déposée dans le calorimètre par la mesure du pt des muons par le tracker ou le spectromètre à muons.

 Les muons doivent vérifier les conditions suivantes: pt>10GeV, nHit>10, chi2/ndof≤10, |d0|<2 mm</li>

 Si le muon n'est pas isolé, on soustrait une énergie moyenne et pas l'énergie réellement déposée dans le calorimètre.

 Le plot ci-dessus montre la MET en direction du boson Z dans des événements Z/γ\*→μ<sup>+</sup>μ<sup>-</sup>+jets

- Avant correction: <MET> ~200 GeV
- Après correction des muons: <MET> ~ -54 GeV
- Après muon + JES: <MET> ~ 3 GeV 10/01/2011

$$ec{E}_T = -\sum_{i=1}^{ ext{towers}} ec{E}_T^i - \sum_{T}^{ ext{muons}} ec{p}_T^\mu + \sum_{i=1}^{ ext{deposit}} ec{E}_T^i$$



# Correction de l'énergie non associée

Seuls les jets au-dessus d'un certain seuil en pt (20 GeV pour les caloJet, 10 GeV pour pfJets) sont utilisés pour les corrections d'échelle d'énergie des jets.
Pour tenir compte de la présence de jets de plus bas pt, ainsi que d'énergies non prises en compte par les algorithmes de formation des jets, on applique les corrections de type II, calculées sur des événements Zee (+0jets).



# track-corrected MET

 Idée: Utiliser la mesure précise des traces pour corriger la réponse imparfaite du calorimètre aux hadrons chargée pour réduire les queues de distribution.

- Ajout de l'impulsion des traces (Important de séparer les  $\mu$  des  $\pi$ )
- Soustraction de la réponse moyenne pour chaque trace
- Ière étape: Calcul de caloMET corrigée des muons

$$\begin{split} E_T^{\mu} &= E_T^{\text{calo}} + \delta E_T^{\mu}, \\ &= -\sum_{\text{towers}} \vec{E}_T - \sum_{\substack{\text{good} \\ \text{muons}}} \vec{p}_T + \sum_{\substack{\text{good} \\ \text{muons}}} \vec{E}_T^{\text{MIP}} \\ &\text{Tracker} \quad \text{Calo E deposit} \\ &\text{muon } p_T \quad (\sim 2 \text{ GeV}) \end{split}$$

• 2ème étape: Calcul de tcMET en utilisant les traces des hadrons

$$\begin{array}{rcl}
\boldsymbol{E}_{T}^{\mathrm{tc}} &= & \boldsymbol{E}_{T}^{\mu} + \delta \boldsymbol{E}_{T}^{\mathrm{tc}}, \\
&= & \boldsymbol{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \boldsymbol{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \langle \vec{E}_{T} \rangle - \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}}} \vec{p}_{T} \\
&= & \mathbf{E}_{T}^{\mu} + \sum_{\substack{\mathrm{good}\\\mathrm{tracks}$$

## Résultats avec tcMET



# L'algorithme « particle flow »



La liste de toutes les particules individuelles est ensuite utilisée pour construire les jets, reconstruire et identifier les taus à partir de la produits de désintégration, étiqueter les jets de b et ... calculer l'énergie transverse manquante!

### Particle flow MET

 La reconstruction du particle flow donne la liste des particules stables de l'événement:

- $\mu^{\scriptscriptstyle\pm}$  ,  $e^{\scriptscriptstyle\pm}$  ,  $\gamma$  , hadrons chargés et hadrons neutre
- en utilisant l'intégralité et la redondance de tous les détecteurs de CMS:
  - Tracker, ECAL, HCAL, système des muons
- PfMET est la somme vectorielle de l'impulsion transverse de toutes les particules reconstruites:

$$\vec{E}_T = -\sum_{\text{particles}} (p_x \hat{\mathbf{i}} + p_y \hat{\mathbf{j}})$$



### Correction d'échelle d'énergie pour les PFJets

- Événements QCD multijets
- Barrel: |η|<1.5</li>



Très grande amélioration à bas pt, grâce aux traces chargée Validation et études des performances dans les données

# Les collisions p-p de 2009

- Ière collision à 900 GeV: 23 Novembre
- Ier faisceaux stables: 6 Décembre
- Ière collision à 2.36 TeV: 14 Décembre
- Luminosité enregistrée (85% délivrée):
  - ~10 μb<sup>-1</sup> @ 900 GeV
    - ~216k events après sélection
  - ~0.4 μb<sup>-1</sup> @ 2360 GeV
    - ~10k events après sélection
- Trigger: coïncidences dans les 2 BSCs (beam scintillators counters)





Pas de champ magnétique! → exclu dans les plots suivants: on ne considère que les données prises avec tous les détecteurs de CMS opérationnels

- Autres coupures de sélection:
- Veto BSC beam halo trigger (timing)
- Coupure des scraping events

## Nettoyage des bruits instrumentaux

• Investigation des données aberrantes  $\rightarrow$  identification et nettoyage de plusieurs type de bruits: bruit spécifique dans le HF, bruit cohérent dans le HCAL, cellules chaudes dans le ECAL, etc.



Aucun événement supprimé dans ce plot!

> On masque les cristaux/tours/fibres identifiés comme du bruit

# Exemples de bruits calorimétriques

### ECAL



HCAL: HB,HE





· Apparaît principalement dans un unique cristal

En temps avec les collisions, mais dans un intervalle plus large
Causé principalement par des dépôts dans les photodiodes à avalanche (APDs) à cause de particules secondaires hautement ionisées.

- · Apparait dans 1-72 canaux
- · Aléatoire,
- ~ 10-20 Hz (E>20 GeV)
- Causé par retour des ions, bruit & décharges dans les photodiodes hybrides (HPDs)
- · Apparaît principalement dans un canal.
- En temps avec les col.
- Causé par lumière de cv des particules passant à travers le verre du tube photomultiplicateur (PMT)

### MET: Comparaison, après cleaning, avec la simulation



- 900 GeV data corrections des muons et de JES pas appliquées
- Bon accord entre données et simulation MinBias

# SumEt



particules/tours calorimétriques

Difficile à reproduire:

• pas de compensation (contrairement à la MET)

 La simulation MinBias donne un bon accord avec les données.

 Le particle flow permet la reconstruction de plus d'énergie que les autres algorithmes.



### PFSumEt est proche de la SumEt MCtruth

Trois raisons gouvernent cette observation:

 Hadrons chargés (mesuré par le tracker) et photons (mesuré par le ECAL) sont reconstruits à la bonne échelle d'énergie et représentent environ 80% de l'énergie totale par événement.

 L'algorithme particle-flow est capable de reconstruire les particules de très faible impulsion, jusqu'à un pT de 100 MeV/c pour les hadrons chargés, et une énergie de 200 MeV pour les photons.

 La calibration des amas hadroniques amène l'énergie des hadrons neutres, qui composent les 20% restant de l'énergie, à la bonne échelle d'énergie.



### Mesure des performances



SumFt > 3 GeV

La résolution relative pour PFMET est environ 2 fois meilleure que celle obtenue avec CaloMET

~0.80 for caloMET

# Les collisions p-p de 2010

- Données à 7 TeV
  - MinBias
  - QCD dijet
  - photon+jet
  - W/Z+jets



# Nettoyage des bruits calorimétriques

A cause de l'augmentation de la statistique et d'une plus grande occupation, quelques faux dépôts d'énergie non supprimés par la procédure de nettoyage mise en place en 2009 ont été identifiés.

- Des nouvelles stratégies de nettoyage, principalement basées sur des contraintes de temps, ont été développées.
  - pfMET > 40 GeV: 925 -> 556 events

Effet du nouveau nettoyage:

• pfMET > 60 GeV: 137 -> 46 events

• pfMET > 80 GeV: 56 -> 13 events

CMS Preliminary 2010 All runs 7 TeV Collisions Good runs Topological cleaning only Timing cleaning added 10 50 150 200 250 300 350 400 450 500 100 Missing E<sub>T</sub> (GeV)

# SumEt dans les événements MinBias

 La sumEt donne l'énergie transverse totale visible par événement et est particulièrement sensible à la modélisation des événements sous-jacent au niveau générateur, et du bruit calorimétrique dans la simulation.



- L'accord data/MC n'est pas parfait.
- Le désaccord provient principalement du fait que le générateur n'est pas correct dans ce régime (effets QCD non-perturbatif).

### **PFMET** dans les événements MinBias



Si on pondère les événements pour obtenir un accord parfait dans la distribution de SumEt, on obtient:



30

# SumEt dans les événements QCD multi-jet

- Dans les événements multi-jet, la simulation repose essentiellement sur la QCD perturbative.
- Un autre avantage des événements di-jet est qu'ils sont plus proches de l'espace de phase dans lequel la MET va être utilisée.



- Plots réalisés en demandant au moins 2 jets de pt>25 GeV
- Bon accord données/simulation jusqu'aux plus grande valeurs de SumEt.
- En moyenne, la caloSumEt reconstruit environ la moitié de la PFSumEt qui, à son tour, reconstruit 80% de la SumEt MCtruth.

# Énergie transverse manquante



# Effet du pile up

- Avec l'augmentation de la luminosité instantanée délivrée par le LHC, le nombre de collisions additionnelles augmente et n'est plus négligeable.
- On étudie les événements MinBias avec 1 vertex et 2 vertex:



- Distribution plus large avec 2 PV
- On pondère les événements 2 PV de manière à avoir la même distribution de SumEt que pour les événements 1 PV
- Après pondération, bon accord entre les distributions 1 PV et 2 PV

Distribution de MET plus large pour 2 PV est du à l'augmentation de SumEt.

# **MET** performances

 La mesure de SumEt définie une échelle naturelle pour comparer les performances relatives de la mesure de la MET. La résolution relative de la MET, ie, le rapport MET/SumEt est montré ici pour des événements avec SumEt>3 GeV:



La résolution de la PFMet est, en moyenne, 2 fois meilleure que caloMET.

# Résolution de la MET en fonction de SumEt

 Comparaison de la résolution des différentes MET à l'échelle de PFSumEt dans des événements QCD dijet (2 jets, pt>25 GeV):



- PFMET a la meilleure résolution
- tcMET apporte également des améliorations par rapport à caloMET

# Correction d'échelle (absolue)

### Mesurée dans des événements photon+jet, photon pT>20 GeV:



•  $|\langle u_{\parallel} \rangle|/q_T$  mesure le facteur de correction d'échelle

La réponse de caloMET est sur-estimée, sous-estimée pour tc et pfMET

Bon accord données/simulation, la réponse est peu sensible au pile up.

Δφ

 $\vec{u}_T$ 

# Les événements W+jets



### $W \rightarrow \mu \nu$ et $W \rightarrow e \nu$

Comparaison données/simulation avec 35 pb<sup>-1</sup>:



# $Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu + jets$



# Effet du pile-up



SumEt est très sensible au pile-up.

• Le MC avec pile-up reproduit très bien les données!

### Recul hadronique



# **Réponse et résolution**





Réponse proche de 1.0 pour qT > 40 GeV.

L'étude de la MET dans les événements Z+jets est en cours:

- Études des événements pathologiques
- Validation des différentes corrections
- Étude du pile up, etc
- Publication dans JINST prévue début 2011.

# Conclusion et perspectives (1/2)

• La MET est reconstruite dans CMS à l'aide de 3 algorithmes: calo, tc et pf

 Les données à 900 GeV puis à 7 TeV, on permis la validation et la mesure des performances des différents algorithmes.

 L'algorithme « particle flow » permet d'obtenir les meilleurs résultats avec une amélioration plus que significative de la résolution.

 De nombreuses études sont toujours en cours pour améliorer notre compréhension de la met: étude du beam halo, des asymétries en phi, des différents bruits calorimétriques, détermination des différentes corrections, étude de la MET significance, etc.

# Conclusion et perspectives (2/2)



# **BACK UP**

# **SLIDES**

# Correction d'échelle d'énergie des jets

- On propage les corrections d'échelle d'énergie des jets à la MET pour tous les jets de pt > 20 GeV et EMF<0.9</li>
  - En dessous de 20 GeV les corrections sont trop imprécises



Biais (gauche) et résolution (droite) sont améliorées par la propagation de ces corrections. (MC W→ev+jets, corrections MC)
 13/12/2010

### Corrections de type II

Événements dijet (2 jets de pt>25 GeV):



 La MET est plus importante après corrections, car l'échelle d'énergie est plus grande.

#### MS preliminary 2010 MC No Corr √s = 7 TeV Data No Corr. MC Type I Data Type I MC Type I+II Data Type I+II -6 -8 -10 30 50 60 n 10 2040P<sub>T</sub> average (j1,j2) [GeV]

 La MET parallèle à la bissectrice moyenne devient négative avec les corrections de JES. Les corrections de type II permettent de supprimer ce biais.

#### 03/12/2010

# <u>Photon-pair invariant-mass</u>

- The absolute photon-energy calibration is checked using  $\pi^0$
- Barrel ( $|\eta| < 1.0$ ), E≥400 MeV photons with photon pair energy >1.5 GeV



- The agreement with the world average pdg value (134.9766±0.0006 MeV) is better than 1%
- The agreement between data and simulation is also within 1%.
- This demonstrates the suitability of the absolute ECAL cluster calibration
   07/06/2010

# Calorimeter response to hadrons (Barrel)

- charged hadrons with |η|<1.4, pT>1 GeV/c, p>3 GeV/c, at least 15 hits (at least 2 in the pixel layers), E(HCAL)>1 GeV and no other tracks linked to the cluster.
  - > Tight requirement on the number of hits to avoid nuclear interactions

> Smart isolation to obtain a very large number of tracks



- The cluster calibration is close to perfect for the largest energies.
- Small deviation at low momentum are absent in the fast simulation (which was used to make the calibration).
- Calibration will be done using data  $\Rightarrow$  these deviations will disappear.

#### 07/06/2010

# Calorimeter response to hadrons (End-caps)

Same procedure applied in the End-caps, but tracks selected with a number of hits which depends of eta, to match the various number of tracker layers.

![](_page_49_Figure_2.jpeg)

Good agreement for tracks with p>10 GeV.

• Calibration will be done using data  $\Rightarrow$  small deviations at low momentum will disappear.

#### 07/06/2010

- MET Resolution  $\frac{\sigma}{E} = \frac{A}{\sqrt{E}} \oplus \frac{B}{E} \oplus C$  (E = "Scalar Sum ET")
  - A = "Stochastic" Term; B = "Noise" Term; C = "Constant" Term
- Important considerations
  - A: Good Hermitic coverage, Energy Resolution
  - A: Compensating Calorimeter Response
  - B: Electronic Noise
  - B: Pile-up and Underlying event
  - B: High Magnetic Field (sweeps out low pt particles)
  - C: Energy loss due to inactive material and punch through
  - C: Other residual non-linearities

# pfMET phi distribution

#### 900 GeV

7 TeV

![](_page_51_Figure_3.jpeg)

04/08/2010

# **MET** significance

![](_page_52_Figure_1.jpeg)

![](_page_53_Figure_0.jpeg)

- neutrals are missing so the magnitude of MPT will be wrong, but the orientation is useful
- For QCD expect angle between MPT and MHT be flat, while peaking at 0 for real MET
- Useful to suppress/predict QCD as well as to reduce the calorimeter noise

# Predicting QCD contribution

![](_page_54_Figure_1.jpeg)

![](_page_54_Figure_2.jpeg)

 Build MET templates from multijet events

![](_page_54_Figure_4.jpeg)

![](_page_54_Figure_5.jpeg)

- Use PF reconstruction
- Good agreement between observation and prediction

![](_page_54_Figure_9.jpeg)

Ter ity g itγ

# QCD in diphoton+MET events

Events

- Select a sample with 2 nonisolated photon candidates
- Weigh sample such that P<sub>T</sub> of diphoton system matches that of the signal sample
- Normalize the MET distribution to the yield in the signal region with MET < 10 GeV</li>

Norm. yy Candidate Sample 45 40 Region Total Uncert., QCD background 35E Correlated Uncert. 30Ē 25 20E 15 10E 10 20 25 30 35 50 Missing E\_ (GeV)

Good agreement between observation and prediction

- $N^{OBS} = 4 (MET > 20 \text{ GeV})$
- N<sup>PRE</sup> = 4.2±1.5 (MET > 20 GeV)

![](_page_55_Picture_11.jpeg)

CMS Preliminary √s=7 TeV, 52.1 nb1